

Olatu-energiaren bilakaera

I. López, J. Andreu, I. Martínez de Alegría, I. Kortabarría

Teknologia Elektronikoa Saila (UPV/EHU)

S. Ceballos

Tecnalia, Unidad de Energía, Derio

J.R. Etxebarria

Euskal Filologia Saila (UPV/EHU)

Laburpena: Olatu-energia edo energia undimotriz¹ gero eta arreta handiago erakar-tzen ari da komunitate zientifikoan eta erakunde publiko zein pribatuetan. Ez da ener-gia-baliabide berri bat; izan ere, jadanik XIII. mendean ere erabiltzen zen energia-iturri hori. Hala ere, historian zehar izan duen bilakaerak hainbat gorabehera izan ditu. Egun, berriz berpizten ari da harekiko jakin-mina, eta horren adierazgarri dira aurrekontu handiko I+G proiektu ugari onarpena. Bestalde, Iberiar penintsulako ipar kostaldea baliabide honen munduko potentzialik handienetakoen barnean dago, eta haren indus-tria-ustiapen errealitate bihur daiteke epe luze-ertainean.

Hitz-gakoak: olatu-energia, olatu-energia bihurgailuak, energia-fluxua.

Abstract: Wave energy is attracting a great deal of attention from the scientific com-munity and public and private agencies. This energy source is not new and it was al-ready in use during the XIII century. However, its evolution has suffered several ups and downs. Nowadays, its interest is re-emerging and numerous R&D projects with high budgets are dealing with the research of this energy source. In this aspect, the northern coast of the Iberian Peninsula presents one of the highest power energy levels in the world and its industrial exploitation can become a reality in a short-medium pe-riod of time.

Keywords: wave energy, wave energy converter, energy flux.

¹ eu: energia undimotriz (sin: olatu-energia, uhin-energia); en: wave-energy; es: energía undimotriz.

I. SARRERA

Itsasoek lurrazalaren % 71 estaltzen dutela kontuan izanda (361 milioi km²-ko azalera eta 1370 milioi km³-ko bolumena), erraz uler daiteke daukaten energia-potentziala izugarria dela. Ozeanoetako urek energia-biltegi modura jokatzen dute, eta bertatik zenbait eratara lor daiteke energia:

- Mareak: Lurraren, Ilargiaren eta Eguzkiaren arteko grabitazio indarrak eta indar zentrifugoak mareen gorako eta beheko mugimenduak gauzatzen dituzte. Mareen bitarteko energia-ustiapenak mugimendu horiek direla-eta urak askatzen duen energia potentzialean du bere oinarria [1].

Mareetatik energia ekoizteko kokapen egokienak, sei metrotik goragoko mareak dituzten estuario eta badiak dira. Teknologia honen adibide gisa har daitezke Ranceko zentrala (Frantzia), Annápoliseko zentrala (Kanada) eta Kislaiako zentrala (Errusia) [2].

- Itsas korronteak: baliabide hau haize-energiaren antzera erauzten da, horren funtsa itsas korronteen indarraren eraginez sorgailu baten errotorea biraka jartzea baita [3]. Nekez aurki daitezke teknologia hau errentagarri bihurtzen duten kokapenak. Izan ere, bi eragile uzartu behar dira, gauzak hobetze aldera: korronte-abiadura altua eta sarbide egokia. Gune horiek itsasarte eta bokaleetan topa daitezke nagusiki, baina horietan itsas trafikoa handia izaten da. Hainbat enpresak garatzen dituzte itsas korronteetarako turbinak [4]. Esate baterako, Marine Current Turbines Ltd enpresak Seagen turbina garatu du [5], eta Open-Hydro Ltd enpresak Open Center turbina [6].

- Itsas gradiente termikoa: atmosferan sartzen den eguzki-erradiazioaren % 38 ozeanoek xurgatzen dute bero gisa. Ondorioz, itsasazaleko eta itsasakoneko uren artean tenperatura-diferentzia bat dago. Gradiente termiko horri esker, energia lor daiteke egoera jakin batzuetan [7]. Eragiketa hori ekonomikoki onuragarria izan dadin, beharrezkoa da 20 °C-ko tenperatura-aldea egotea.

Eguzkiak itsasazala batez beste 25 °C-30 °C-ra berotzen duen eskualdeetan, beharrezkoa da 600-900 m-raino jaistea, diferentzia termiko hori lortzeko (20 °C). Zonalde horiek Ekuatoretik hurbil dauden latitudeetan daude. Hawaiiin, adibidez, hainbat OTEC (Ocean Thermal Energy Conversion) instalazio experimental daude [8], eta Indian, adibidez, ura gazgabetzeko honako teknologian oinarritzen den 1 MW-ko NIOT instalazioa erabiltzen da.

- Itsasoko gatz-gradienteak: teknologia honek etekina ateratzen dio ur gaziaren eta ur gezaren arteko gazitasun-diferentziari; ondorioz, bokaleak dira energia-ustiapenerako kokaleku egokienak. Mintz erdi-iragazkor bat erabilita, energia lor daiteke presio osmotikoaren diferentziaren bitartez, edo kontrako elektrodialisiaren bidez [9].

Norvegiako Statkraft konpainiak jarri zuen abian itsasoko gatz-gradien bitartez energia elektrikoa sortzen duen munduko lehenengo instalazio pilotua 2009an.

- Olatuak: olatuen energia edo energia undimotrizatzaile baliatzeke, aparatu edo bihurtzaile baten bidez olatuen mugimendua jasotzen da, eta hainbat teknika erabilita (pneumatikoak, hidraulikoak, mekanikoak) mugimendu hori energia erabilgarri (elektrizitatea, normalean) bihurtzen du. Testuinguru horretan, itzelak izan daitezke olatuek eman ditzaketan aukerak, eta gainera, etengabeko baliabidea ez den arren, fidagarriagoak dira olatuei buruzko iragarpenak haizeari buruzkoak baino. Esan beharrekoa da halaber, olatuen energia-dentsitatea ($2-3 \text{ kW/m}^2$) beste iturri berriztagarri batzuen baino handiagoa dela [10], [11]; esate baterako, askoz handiagoa da haize-energiarena ($0.4-0.6 \text{ kW/m}^2$), eta eguzki-energiarena ($0.1-0.2 \text{ kW/m}^2$) baino.

Horri guztiari gehitu behar zaio olatu-energia ustiatzeko toki ugari izatea: kostaldetik hasita 50 metro baino goragoko sakonera duten urrutiko zonaldeetaraino [12], [13]. Izan ere, ez da ahaztu behar munduko biztanleriaren % 90 kostaldetik 90 km baino hurbilago bizi dela [11]. Teknologia hau darabilten garrantzi handiko proiektuen artean, Pelamis dago [14], [15], zeina itsasoan eskala errealean frogatutako lehenengo bihurtzailea izan baitzen.

Badira itsasoa energia-iturri gisa erabiltzen duten beste hiru teknologia: itsasoko biomasa, itsasoko energia geotermikoa eta itsasoko haize-energia. Normalean, horiek ez dira sailkatzen itsas energia modura; izan ere, ez dute energia uraren bitartez eskuratzen.

Espainiar esparruari dagokionez, eta olatu-energiari begira, kostalde kantauritarra eta itsasertz galiziarra potentzial handiko zonaldeak dira, INRI (*Independent Natural Resource Index*) sailkapenaren arabera munduko bigarren edo hirugarren potentzialik handienetakoa. Izan ere, Europan, herrialde nordikoak eta Erresuma Batuak baino ez dute gainditzen kostalde kantauritarra [16], [17]. Azken datu hau kontuan izanda, olatu-energiak daukan abantaila batera, artikulu hau teknologia horren ikerketan oinarrituko da.

II. OLATU-ENERGIAREN ERABILERAREN BILAKAERA

Zientzialari eta asmaitzaile ugari egon dira mendeetan zehar itsas olatuen energia jasotzeko moduak ikertzen. Olatu-energiaren erabileraren lehenengo lekukotasunak Txinan aurkitu dira bertan, XIII. Mendean errotak lan eginen hasi ziren olatuen eraginari esker [18]. Energia-iturri horretaz baliatzeke lehenengo patentea Frantzian, 1799an, aurkeztu zuten Girardek eta beraren semeak [19]. Hala ere, 1970 arte, patente kopuruak ez zuen nabarmen gora egin; edonola 2007an erregistratutako kopurua milatik gorakoa zen (Tau-

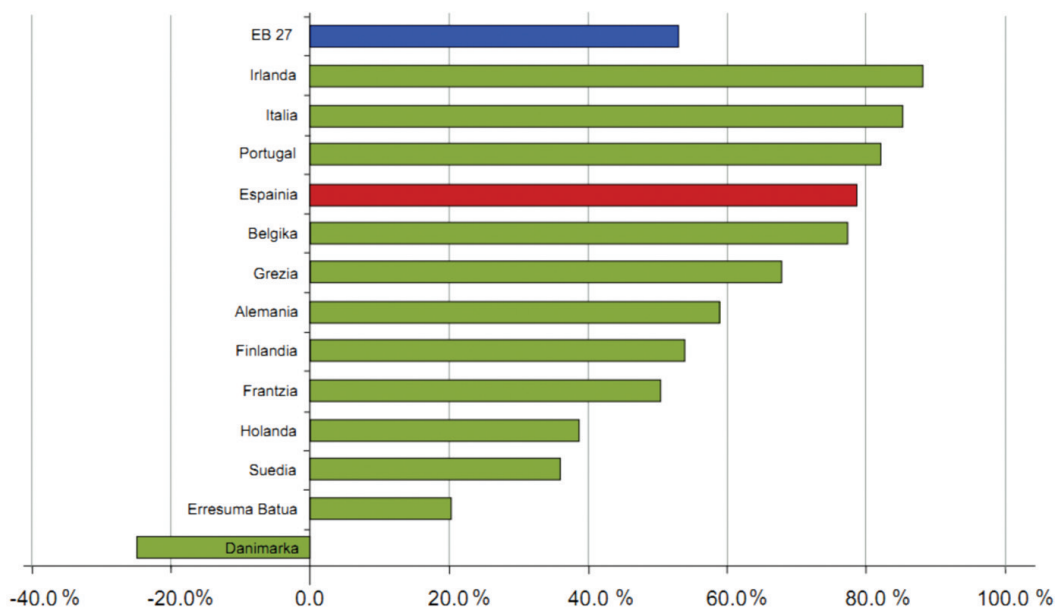
la I) [20], [21]. Dena den, gaur egun oraindik ez dago energi iturri berriztagarri horri etekin ateratzen dion industriako ustiapen-instalaziorik [21].

Olatu-energiaren lehenengo erabileretako bat, Bochaux-Praceique frantsesak garatu zuen 1910an, bere Royango etxebizitza (Bordele-etik gertu) elektrizitatez hornitzeko. Horretarako, sistema pneumatiko batez baliatu zen; gaur egun ur-zutabe oszilatzailea (OWC, *Oscillating Water Column*) deritzonaren antzeko sistema zen hura [18]. Yoshio Masuda japoniarrak garatu zuen kontzeptu hori geroago. Izan ere, Masuda olatu-energia modernoaren aitatzat jotzen da (1940etik aurrera teknologia horri ekarpen ugari egin zizkion), eta joan den mendeko hirurogeiko hamarkadan garatu zuen lehen aipatutako ur-zutabe oszilatzaileak edo OWC aparatuak oinarri gisa duen printzipioa: ur-energia aire-fluxu bihurtu. Hasiera batean, bere asmatzailearen ohorez, OWC sistema Masuda bihurgailua izenaz ezagutzen zen [13].

Europan, Stephen Salter eta Budal Kjell izan ziren olatu-energiaren teknologiaren aitzindariak; horren inguruko ikasketak 1973an hasi zituzten, petrolioaren krisiak bultzaturik. AEBetan, berriz, Michael E. McCormick izan zen teknologia horrekin lanean aritutako lehenengo akademikoetakoa [22].

I. taula. Olatu-bihurgailuen patente kopurua. Herrialdeen araberako sailkapena.

Herrialdea	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	Guztira	(%)	Guztira
Japonia	32	30	24	37	41	49	18	2	236		23.5
AEB	10	13	24	17	18	33	37	29	191		19.0
EB	5	5	10	18	29	32	37	20	157		15.6
Alemania	15	12	13	19	14	16	22	15	129		12.8
Frantzia	3		6	5	14	12	11	3	54		5.4
Norvegia	1		4	3	9	7	3	9	36		3.6
Australia		1	2		2	3	8	3	19		1.9
Italia			2	1	2	5	2	5	17		1.7
Korea				1	6	1	2	4	14		1.4
Espainia			3		3		3	4	13		1.3
Austria		1	3	2	1	1	1	1	10		1.0
Finlandia			1		1	2	4	2	10		1.0
Txina			2	1		1	2	2	8		0.8
Suedia			2			1	1		8		0.8
Danimarka			3		4		2	1	7		0.7
Kanada			1	1	1	2	1		6		0.6
Grezia					1		3	3	6		0.6
Mexiko			1	1		1	2	1	6		0.6
Taiwan			1	1		2	1	1	6		0.6
Guztira	67	70	105	112	171	178	178	123	1004		100



1. irudia. Europar Batasunaren menpekotasun energetikoa (2007/2008).

Esan den moduan, 1973tik aurrera, petrolioaren salneurriaren igoeraren ondorioz, hainbat unibertsitate eta erakundetako ikertzaileek olatuen teknologiarazuzenduzituzten beren ahaleginak. Handik aurrera, hamarkada horren bukaeran, gobernu eta erakunde pribatu hasi ziren laguntza ematen I+G programetan, batez ere Erresuma Batuan, Portugalen, Irlandan, Norvegian, Suedian eta Danimarkan. 1980ko hamarkadan, petrolioaren salneurriaren beherapenarekin batera, gutxitu egin zen ikerkuntza horietara zuzendutako finantziazioa [22]. Dena den, lortu zen lehenengo belaunaldiko hainbat prototipo itsasoan frogatzea.

XXI. mendearen hasierarekin batera, berriz ere suspertu da olatu-bihurgailuen inguruko ikerketa eta garapenaren aldeko interesa, bi arrazoi hauek bultzaturik: energia-konsumo eutsiezineko ereduak piztutako alarmak (1. irudia, [23]) eta atmosferara isuritako gas kutsatzaileen kantitateak [24]. Horrela, aurrekontu handiko europar I+G proiektu ugari aurkeztu dira. Hona hemen batzuk:

- Olatu-Energiaren Plangintza eta Merkaturatzea (*Wave Energy Planning & Marketing, WAVEPLAM*) [25], [26]: proiektu honi 2007an eman zitzaion hasiera, Energiaren Euskal Erakundeak (EEE/EVE) koordinatuta, eta milioi bat euroko finantziazioarekin hiru urterako. Europar Batasuneko (EB) zazpi herrialdetako zortzi kidek hartzen dute parte, Lehiakortasun eta Berrikuntzarako Agentzia Exekutiboaren (*Executive Agency for Competitiveness and Innovation, EACI*)

babesarekin. Hauxe da WAVEPLAMen xedea: energia-iturri berriztagarrien inguruan teknologikoak ez diren hesiak eta ager daitezkeen faktore baldintzatzaileak zehaztea, teknologia horiek eskala handian garatzeko prest daudenerako. Horretarako, gailentzen ari den europar merkatu hori bultzatzeko baldintzak sortu, tresnak garatu, eta arau zein metodoak ezartzen ahalegintzen da WAVEPLAM.

Olatu-energiaren egungo egoeraren informazioa jaso eta biltzeaz gain, proiektuaren helburu nagusia, helbururik garrantzitsuena ozeano-energiaren arlotik kanpoko jendarte zabalari teknologia horren ezaugarri eta gertakariak ezagutzera ematea da, sare-loturen bitartez.

- Itsas Energiaren Sistementzako Osagarriak (*Componets for Ocean Renewable Energy Systems*, CORES) [25], [27], [28]: Cork Unibertsitateko *Hydraulics & Maritime Research Centre* (Irlanda) erakundeak koordinatzen du proiektu hau. Europar Erkidegoko zazpi herrialdetako hamahiru kidek hartzen dute parte, 4.5 milioi euroko finantziazioarekin, 2007tik hasita 3 urtera.

CORESen OWCen energia-ustiapenerako osagai eta kontzeptu berriak, kontrola, ainguratzeak, datu-eskuratze eta instrumentazioa garatzea du helburu. Era berean, itsas inguruneke arriskuak eta sortutako energiaren kostua murrizteko asmoarekin, ikerkuntza eta garapen teknologikoa, ETE (Enpresa Txiki eta Ertainak) eta gailuen garatzaileen arteko batasuna edota lankidetzak bultzatzen ditu CORESek. OWCan oinarritzen den arren, espero da jasotako datuak mota guztietako bihurtu izateko baliagarriak izatea.

- Bidezko Probak eta Itsas Energiaren Erauzketa-gailuen Ebaluazioa, Etekin, Kostu eta Ingurumen-inpaktu modura (*Equitable Testing and Evaluation of Marine Energy Extraction Devices in terms of Performance, Cost and Environmental Impact*, EquiMAR) [25], [27], [29]: EquiMAR proiektua 7. Esparru-Programaren (7FP, *7th Framework Programme*) sail aurre-arautzailearen atal bat da. Europar Batzordearen lana kudeatzen duten 11 estatu kidetako 24 ordezkariak osatzen dute. Hiru urteko iraupena eduki du 2008ko apirilatik hasita, eta 4.5 milioi euroko aurrekontua. Edinburgeko Unibertsitateak (Eskozia) koordinatutako proiektua da.

EquiMAREk hainbat protokolo eskaintzen ditu itsas bihurtu gailuen ebaluazio zuzena egiteko. Froga eta ebaluazio-protokolo horiek (kopapen-hautapena, bihurtu gailuen ingeniari-tza-diseinua, diseinuen zabalakuntza, bihurtu gailu-sareen hedapena, ingurune-inpaktu eta kontu ekonomikoak) egun erabilgarriak diren hainbat bihurtu gailuen bitartez adostuko dira. Proiektuak izango dituen ondorioek oinarri sendo bat ezarriko dute etorkizuneko arauetarako (adibidez IEC, *International Electrotechnical Commission*).

- SuperGen Itsas-Energiaren Ikerkuntza Partzuergoa (*SuperGen Marine Energy Research Consortium*, SUPERGEN-MARINE) [25], [30]:

2003 urtean, Ingeniaritza eta Fisika Zientziaren Ikerketa-Batzordeak (*Engineering and Physical Science Research Council*, EPSRC) sortu zuen «Energia iraunkor sorkuntza eta hornitze ekimena» finantziazio-prozedura. Diru horren zati bat (7.8 milioi euro) itsas energiaren sektorerara bideratu zen «SUPERGEN Itsas-Energiaren Ikerkuntza Partzuergoa» izenaz. SUPERGEN erakundea Erresuma Batuko bost unibertsitatek, beste sei filialek eta atzerriko zazpi kidek osatzen dute.

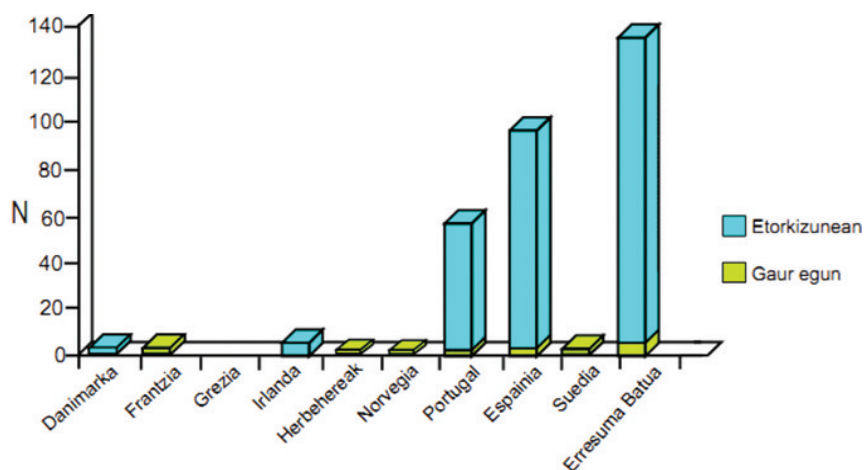
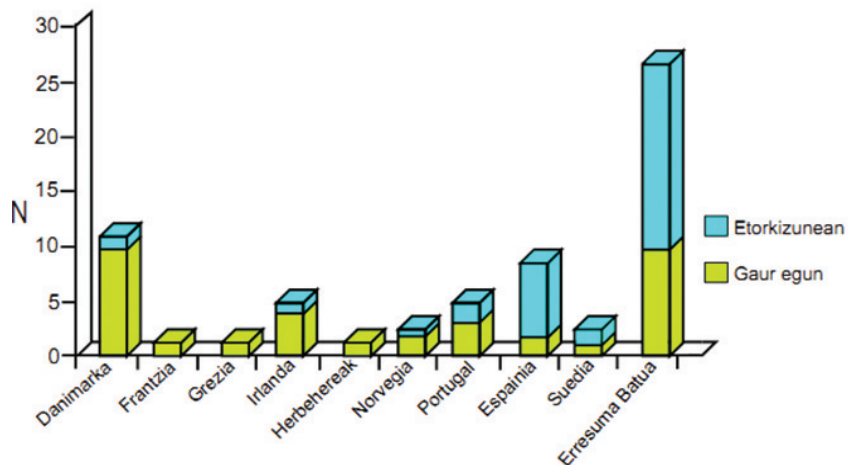
2007ko urrian, proiektuaren lehenengo fasearen arrakastaren ondorioz, lau urte luzatzea adostu zen. Esan beharrekoa da SUPERGENen doktoretza-eta prestakuntza-ikasketak ere barne daudela.

- Profesionalentzako Hasierako Trebakuntza Sarea Olatu Energiaren Ikerkuntzan (*Initial Training Network for Wave Energy Research Professionals*, WAVETRAIN II) [25], [27], [31]: WAVETRAIN II abiatu zen 2008ko urrian 3.5 milioi euroko finantziazioarekin eta lau urteko iraupenarekin, Lisboako (Portugal) Olatu-Energia Zentroa (*Wave Energy Centre*) koordinatzailea izanik. Proiektu horrek lehenago izan zuen aurreko proiektuaren bideari jarraitzen dio, hau da WAVETRAIN I izenekoari. Horren helburua, olatu-energiaren ikerkuntzan espezializaturik dauden profesional-talde bat osatzea da, modu honetan gaur egun ikasketa-egitasmorik ez duen eta susperitzen ari den industria horri laguntza emateko.
- Itsas Energia Berriztagarri-dun Aplikazio-Plataforma (*Marine Renewable Integrated Application Platform*, MARINA-Platform) [25], [32]: Acciona Energía S.A. enpresa da koordinatzailea, eta proiektu honen aurrekontua 12 milioi eurokoa da lau urterako, 2009an hasita. Itsas zabaleko (*offshore*) energia berriztagarrien aplikazioak merkatura hurbiltzeko xedea duen proiektua da. Horretarako, azpiegitura berriak sortzen ditu, itsasoko haize-energiaren zein itsas energiaren bihurtzeko. Hau da, Europar itsas energiaren industria bultzateko beharrezkoa den teknologia errentagarrien sorreran egiten du lan MARINA-Platform proiektuak.
Proiektuak honako ekimen hauek aztertzen eta lantzen ditu: petrolio-ingenieritzak ur sakonetan duen esperientzia, azkenengo 40 urteotan gas-industriak izandako garapen teknologikoa, *offshore* motako haize-energiaren egoera, gaur egungo olatu-energiaren etorkizun handiko kontzeptuak, eta beste teknologia batzuk.

Beraz, aipatutako proiektuekin batera (III. taula) ondoko 2. irudia [33] kontuan hartzen bada, argi antzeman daiteke estatu kide bakoitzak olatu-energiaren bidezko elektrizitate-sorkuntzari laguntza emateko duen konpromisoa. Ezkerreko irudiak erakusten ditu garatzen ari diren olatu-bihurgailuak (itsas frogan etapan edo plangintza-etapan). Eskuineko irudiak, bestetik, bihurtzeko horien bidez instalatutako potentzia adierazten du.

II. taula. Europar olatu-energiaren inguruko I+G proiektuak.

Proiektua	Koordinatzailea	Aurrekontua (M€)	Iraupena
WAVEPLAM	EEE	1	2007-2010
CORES	Hydraulics & Maritime Research Centre (Cork-eko Unibertsitatea)	4.5	2007-2010
EquiMAR	Edinburgeko Unibertsitatea	1.5	2008-2011
SUPERGEN	SuperGen Marine Energy Research Consortium	7.8	2003-2007, 2007-2011
WAVETRAIN-II	Wave Energy Centre	3.5	2008-2012
MARINA-Platform	Acciona Energía S.A	12	2009-2013



2. irudia. Europar garatutako aparatuen kopurua (goikoa) eta instalatutako potentzia MW (behekoa).

Irudiaren arabera ikus daitekeenez European MW gehien instalaturik izango dituen bigarren herrialdea izatera helduko da Espainia; izan ere, itsas energiaren erreferente bilakatzen ari da, besteak beste, honako proiektuei esker:

- Itsas Energiaren Proiektu Singular Estrategikoa (Proyecto Singular Estratégico de Energía Marina, PSE-MAR) [34]: proiektu hau Espainiako Zientzia eta Berrikuntza Ministerioak finantziatu du 6.3 milioi euroekin. Koordinatzailea Tecnia Korporazio Teknologikoa da. Aurrekontu globala 20 milioi eurokoa da 2005-2010 denboraldirako, eta espainiar olatu-bihurgailuen teknologiaren garapenera zuzenduta dago: PIPO SYSTEMS, HIDROFLOT eta OCEANTEC [35].
- Mutriku OWC [36]: Mutrikuko (Euskal Herria) portuko kai-muturraren eraikuntzaz baliatuz, olatu-energiaren ustiapenerako instalazio bat eraiki zen. Erabilitako teknologia OWC sistemakoa da, 30 kW-eko 16 turbinaz osaturik. EEE/EVEk, Euskal Herriko Herri Lan eta Garraio Saileko Portu Agintaritzaren erakundeak, eta WAVEGEN (Voith Siemens Company) eskoziar enpresak sustatutako proiektua da. Izandako aurrekontua 3.5 milioi eurokoa da, 2005-2010 bitartean erabiltzekoa. Mutrikuko instalazioa sare elektrikoarekin konektatu zen 2011ko uztailean.
- Aitzindariak Itsas Energia Berriztagarrietan (Líderes en Energía Renovables Oceánicas, OCEAN-LÍDER) [37]: enpresa-partzuergo baten sustatutako proiektua da. 2009an abiatu zen, 30 milioi euroko aurrekontuarekin, IBERDROLA Ingeniería y Construcción koordinatzailea izanda. OCEAN-LÍDERen ozeanoko energia berriztagarriak modu eraginkor batean ustiatzeko ezagutza eta beharrezko teknologiak sortu nahi dute instalazio berriak, bihurgailuak, egiturak eta ibilgailuak erabiliz itsasotik energia elektrikoa sortu, zabaldu eta garraioaren garapena ahalbidetzeko.
- Bizkaiko Itsas Energiaren Plataforma (*Biscay Marine Energy Platform*, BIMEP) [33], [38]: itsas zabalean olatu-energiaren ikerketarako, ustiapenerako eta frogaketarako prestatutako itsas azpiegitura da. Helburu nagusia olatu-bihurgailuen fabrikatzaileei ekipamendua

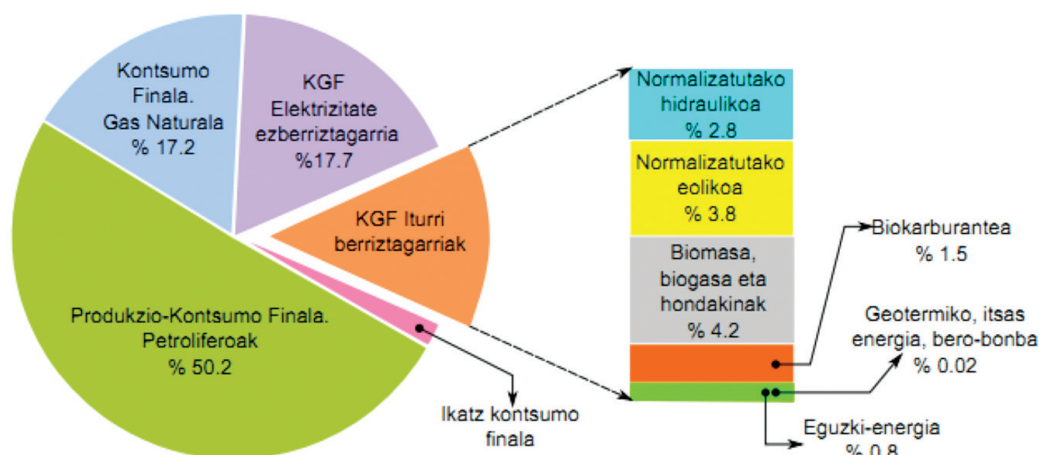
III. taula. Espainiar olatu-energiaren inguruko I+G proiektuak.

Proiektua	Koordinatzailea	Aurrekontua (M€)	Iraupena
PSE-MAR	MCI	20	2005-2010
Mutriku OWC	EEE	3.5	2005-2010
OCEAN-LÍDER	IBERDROLA Ingeniería y Construcción	30	2009-2012
BIMEP	EEE	20	2008-2012

instalatzen uztea da, bai ustiapenerako baita frogetarako ere. Froga-keta-zona 4x2 km-koa da, Armintza-Lemonizen (Euskal Herria) kokaturik, 20 MWeko potentziarekin, lau konexio-gunetan banaturik (5 MW/13 kV). Proiektuak lau urteko iraupena dauka, 2008-an hasita, eta 20 milioi euroko aurrekontua, EEE/EVEk finantziaturik osorik.

Azken urteotan energia berriztagarriei buruzko legeak prestatzen eta sortzen ari dira. Jarraian, esanguratsuenetako batzuk aipatuko dira:

- 2005eko otsailean, indarrean sartu zen Kiotoko Protokoloa [39]. Horren ondorioz, Espainiak 2008-2012 urte bitartereko adostutako akordioa berotegi-efektuko gas isuriak murriztea da, 1990ean izandako neurriaren % 15ean. Energia-iturri berriztagarriei esker, hartutako akordio hori ondo gauzatzen ari da.
- 2005eko udan, Espainian 2005-2010 Energia Berriztagarrien Egitasmoa (Plan de Energías Renovables 2005-2010, PER 2005-2010) izeneko plangintza onartu zen [40]. Horren helburua da 2010ean energia primarioaren kontsumoaren % 12.1 iturri berriztagarrietatik sortzea, Kiotoko Protokoloarekin bat etortzeko. Esparru horri jarraituz, 2011n argitaratutako plan berrian (PER 2011-2020) antzeman daiteke nola azkenengo urteetan zehar iturri berriztagarrien hedapena nabarmena izan den; izan ere, energia primarioaren kontsumoari dagokionez, 2004an % 6.3 horniztetik 2010ean % 11.3 izatera iritsi da. Azken ehuneko hori are gehiago igotzen da (% 13.2, 2010ean) kontsumo gordin osoa hartzen baldin bada (3. irudia) [41].
Elektrizitatearen sorkuntzari dagokionez, elektrizitate-kontsumo gordina 2004an % 18.5 izatetik, 2010ean % 29.2 izatera heldu dela adierazten da PER 2011-2020an (datu horiek urte normalizatu bati dagozkie) [41].



3. irudia. KGF 2010: Kontsumo gordin finala 2010ean.

- 2007ko martxoan, helburu lotesle hau onartu zuen Europar Batasuneko kontseiluak: 2020an Europar Batasuneko energia-kontsumo guztiaren % 20 iturri berriztagarrietatik sortzea [42]. Horri lotuta, urte bereko uztailean indarrean jarri zuen 1028/2007 errege-dekretua [43]. Itsasoan energia elektrikoa sortzeko instalazioak eraikitzeko baimena eskuratzeko prozesua ezarri du dekretu horrek. Batez ere itsasoko haize-energian oinarrituta dagoen arren, barne hartzen du erraztutako prozesu bat, non bestelako itsas teknologiak ere parte hartzen duten.
- Europako Legebiltzarreko eta 2009ko apirilaren 23ko Kontseiluko 2009/28/CE zuzentarauak ezartzen du estatu kide bakoitzak Europar Batzordeari jakinarazi behar dizkiola adostutako helburua lortzeko 2011-2020 bitartean hartuko dituzten neurriak: dakigunez, % 20ko kuota lortu nahi dute energia iturri berriztagarrietatik Europar Batasunaren kontsumoan, eta % 10ekoa estatu bakoitzaren garraio-sektorean 2020an. Neurri edo betebeharroriek guztiak biltzen dituen «2011-2020 Energia Berriztagarrien Garapenerako Nazio-Egitasmoa delako dokumentua (Plan de Acción Nacional de Energías Renovables 2011-2020, PANER 2011-2020)» [44] aurkeztu beharko dute.
- Espainiak 2011ko ekainean aipatutako PANER 2011-2020 dokumentua aurkeztu zuen [23]. Agiri horretan, esan bezala, lagunduko diren ekimenak argitzen dira. Argi azpimarratu behar da hartutako neurri orokorren artean itsasoko teknologiek parte hartzen dutela, bereziki itsasoko haize-energiaren eta olatu-energiaren *offshore* motako proiektuek.

III. OLATU-ENERGIAREN TEKNOLOGIA

Bestelako energia-iturri berriztagarrien aldean, olatu-energiaren bihurtarako sistemak ugariak dira; hala eta guztiz ere, ez da horietako bat ere besteen gainetik nabarmendu. Olatu-energiaren bihurgailuak hainbat irizpideren arabera sailka daitezke [11], [12], [13]:

- Kokapenaren arabera, hiru mota desberdintzen dira: kostaldean finaturiko aparatuak (*onshore*), sakonera txikiko uretan (10-40 m) eta kostaldetik ehunka metrora aldendutakoak (*nearshore*), eta ur sakonetan (50-100 m) kostaldetik urrun (*offshore*) dauden urgaineko aparatuak edo murgildutakoak.
- Tamaina eta norabidearen arabera: egitura txikiak izan daitezke olatuaren tamainarekin alderaturik (xurgatzaile puntualak), egitura luzeak eta olatuaren norabidearekin paralelo kokatzen direnak (atenuadore edo xurgatzaile linealak), eta egitura luzeak eta olatuaren

norabidearekiko perpendikularrak direnak (totalizatzaile edo akabatzaileak).

- Funtzionamenduaren oinarrien arabera: olatuak fluxu baten gainean eragindako presio-diferentziatik probetxu etekina ateratzen duten bihurgailuak (OWC eta Arkimides efektua), olatuek mugitzen dituzten ur-gaineko gorputzak (gorputz flotatzailea), eta olatuak haien kontra egitetik etekina ateratzen duten bihurgailuak (gainezkako sistemak edo talka-sistemak).

Alboko 4. irudiak [11] erakusten ditu gaur egungo hainbat olatu-energia bihurgailu, deskribatutako irizpideen arabera sailkatuta.

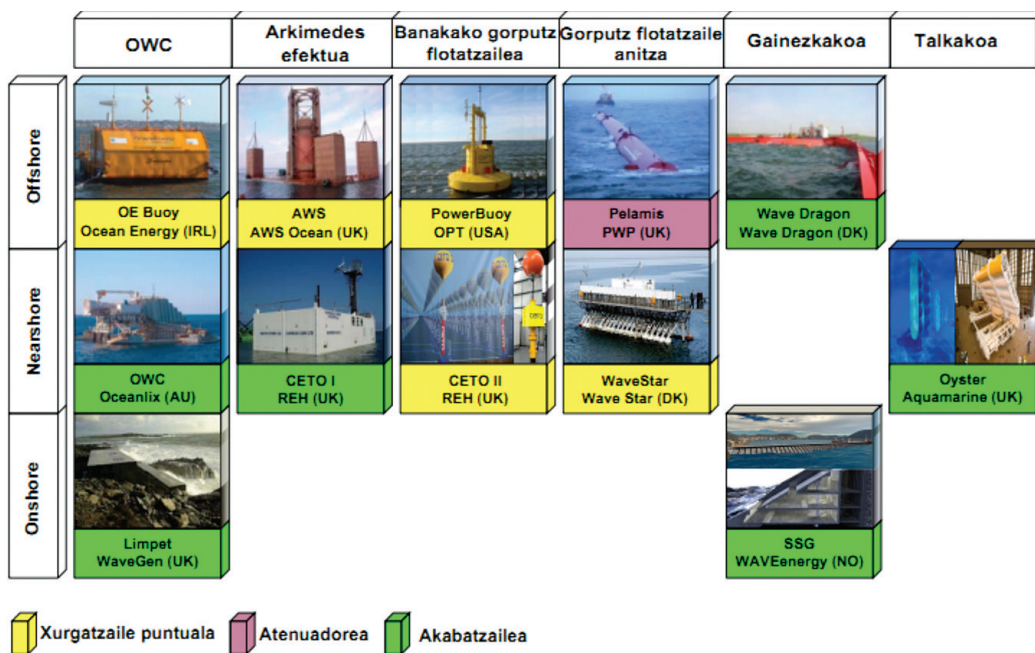
Aurretik esan den bezala, olatuek eskain ditzaketen aukerak asko dira, energia-baliabide dagokionez. Olatuek mundu osoan zehar daukaten potentzia 2 TW-en zenbatetsi da [10]. Hori kontuan izanik, [12]-ren arabera, 2.000 TWh elektrizitate sor daitezke urtero (gaitasun-faktorea % 11koa dela suposatuz); era honetan, 820 biloi euroko inbertsioarekin, munduko kontsumo elektrikoaren % 10 hornitu daiteke. Energia potentzialik handienak 30°-60° arteko latitudeko eskualdeetan daude (bi hemisferioetan), eta bereziki handia dira europar mendebaldeko kostaldean, Kanadako eta AEBko kostaldean aurrean, Australiar hego-mendebaldeko kostaldean, Zeelanda Berrian, Hego Amerikan eta Hego Afrikan (5. irudia) [45].

Hori guztia kontuan izanda, ez dago zalantzarik olatuek abantaila ugari eskain ditzaketela. Halaber, ezin da ahaztu teknologia horren garapenak gainditu behar dituen oztopoak ugariak direla [17], [19], [46]. Garrantzi-suenen artean, hiru desabantaila hauek aipa daitezke:

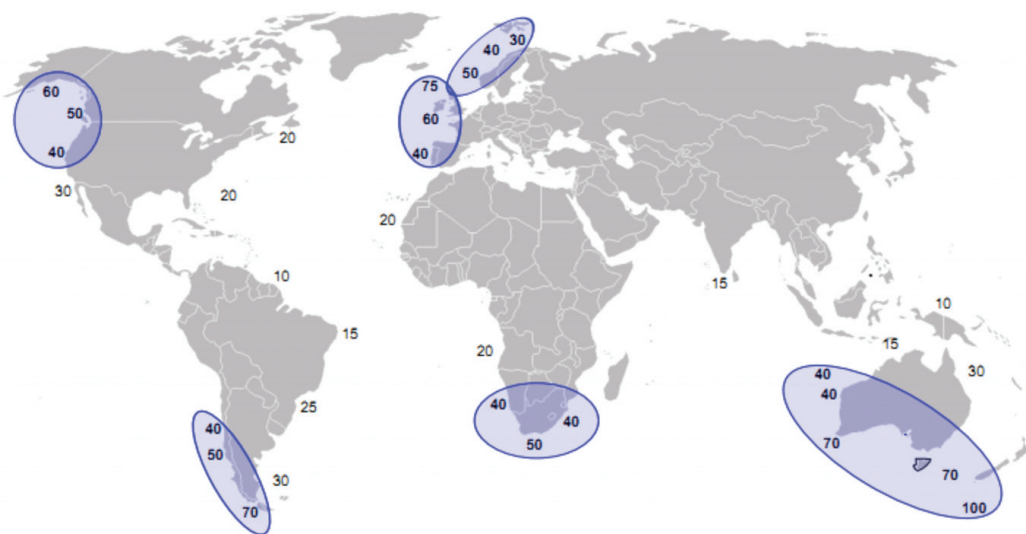
1. Olatuen fasearen, anplitudearen eta norabidearen irregulartasunak. Horiek eraginkortasun maximoa lortzea eragozten dute bihurgailuaren kitzikapen-maiztasun guztietan (Hz).
2. Muturreko klima-baldintzak bihurgailuen egituraren sor ditzaketen kargak.
3. Olatuen mugimendu motel eta irregularren (~ 0.1 Hz) akoplamendua kitzikapen-maiztasun altuago batekin, normalean sorgailu elektrikoekin (50 Hz).

Bigarren eta hirugarren arazoei konponbidea emateko, nahitaezkoa da potentzia-elektronika. Hori dela-eta, PTO izeneko sistema energia-ustiatzaileak (*Power Take Off*) egiten duen energiaren eraldaketa bi konbertsio-etapatan bana daiteke:

1. Konbertsio primarioa: olatuen mugimenduak gorputz baten mugimendu bihurtzen da, sistema pneumatiko, hidrauliko edo mekanikoan laguntzaz; edo aire edo ur fluxu baten mugimendu bihurtzean.



4. irudia. Olatu-bihurgailuen sailkapena.

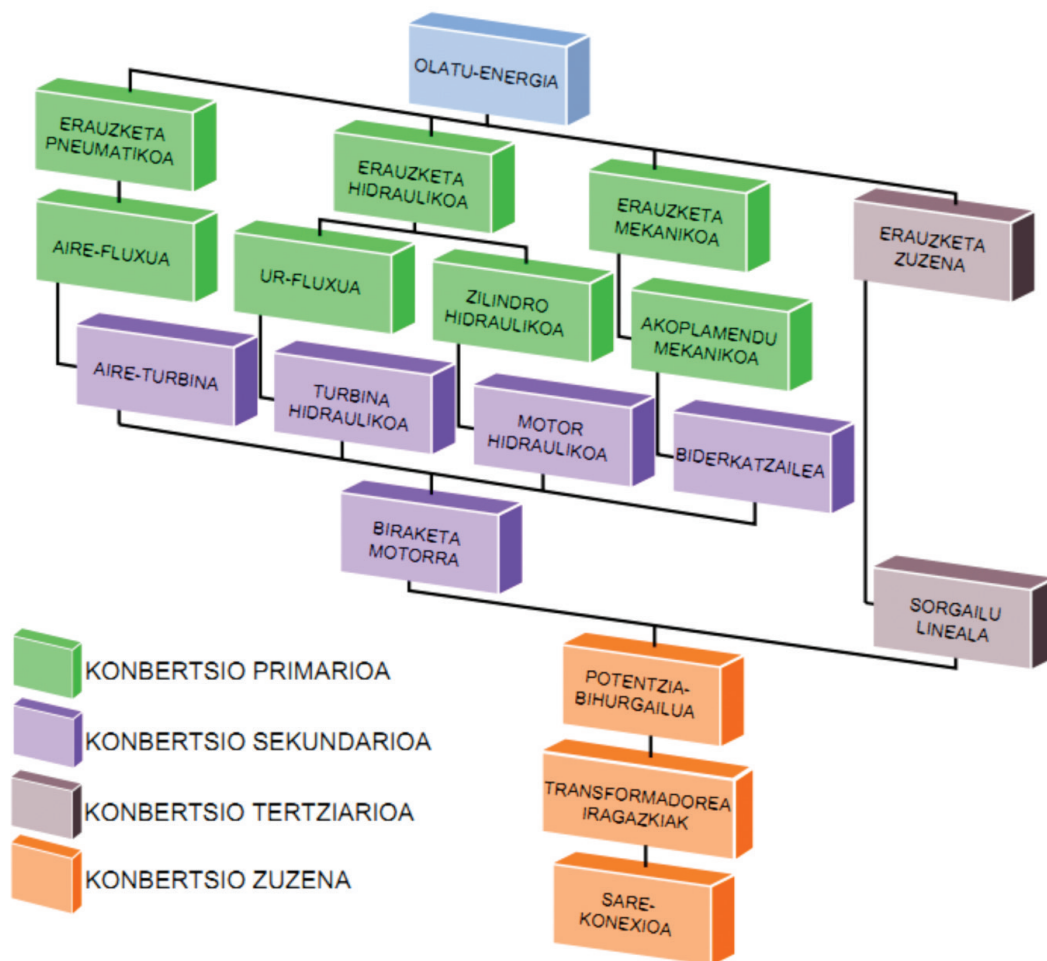


5. irudia. Olatu-energiaren potentzia (kW/m) mundu osoan zehar.

2. Konbertsio sekundarioa: aurreko etapan lortutako lan-fluxuaren energia erabilgarria den energia bilakatzen da; elektrizitate bihurtzean gertatzen da hori normalean. Horretarako erabiltzen diren elementuak hauexek dira: turbina pneumatikoak (Wells turbina, Dennis-Auld turbina eta bulkada-turbina [13]), turbina hidraulikoak (Kaplan, Francis

eta Pelton turbinak [13], [47]) eta sorgailu elektrikoak (elikadura bi-koitzeko sorgailua, urtxintxa-kaiolazko sorgailua, iman-iraunkor-dun sorgailu sinkronoa edota errotore harilkatutako sorgailua [48]). Elementu horien bidez biraketa-abiadura motelak bizkortu daiteke (1.500 b/min); hau da, sorgailu bati konektatzeko moduko abiadura egokiak.

Aldi berean, badaude konbertsio zuzena egiten duten PTOak ere badaude; horretarako, sorgailu lineal batez laguntzen dira, adibidez AWS aparatuak (*Archimedes Wave Swing*) daukana bezalako batez [49]. Hala-ber, bi etapa horiei beste hirugarren bat ere gehitu dakieke. Azken etapa horren helburua honetan datza: sorgailuetatik (biraketazkoa edo lineala) ateratako energia sare elektrikoarekin konektatzeko egokituta dagoen energia elektriko bihurtzean. Hain zuzen, 6. irudiak erakusten ditu deskribatutako etapak.



6. irudia. Olatu-energiaren konbertsio-etapak.

Azken kontu horri dagokionez (sare elektrikoaren konexioa), esan behar da Nazioarteko Elektroteknia Batzordeak (IEC, *International Electrotechnical Commission*) batzorde teknikoa ezarri zuela (IEC/TC 114 «Itsas energia. Marea eta olatu-energiaren bihurtgailuak»), teknologia horien inguruan arauak sortzen hasteko xedearekin [50]. Era berean, AENOREk, AEN/CTN 206 batzordearen barnean SC114 azpibatzailea sortu zuen («Itsas energiak. Itsas olatu eta korronteen bihurtgailuak»). Horren eginkizunak dira, IEC/TC 114aren antzera, itsas teknologiaren prozedurak arautzea, eta olatu zein itsas korronteen energiaren bilakaeran parte hartzen duten prozeduren normalizazioa arautzea. Hala eta guztiz ere, egun ez dago arautegi ofizialik ezarrita oraindik; bitartean, itsas haize-energiarekin zerikusirik duten arauetan oinarritzen dira: *An International Design standard for offshore wind turbines: IEC 61400-3* [51] eta *PO.12.3 Requisitos de respuesta frente a huecos de tensión de las instalaciones de producción de régimen especial* [52]).

Atal honi amaiera emateko, IV. taula eta 7. irudia aurkezten dira. Zehazki, IV. taulak egungo olatu-energiaren bihurtgailuen hainbat proiekturen zerrenda erakusten du, eta 7. irudiak Europako olatu-energian oinarritutako froga-guneak [33] eta horien ezaugarri nagusiak adierazten ditu.

IV. taula. Olatu-energiaren proiekturik aipagarrienak.

Proiektua	Funtzionamenduaren oinarria	Instalaturako potentzia (kW)	Funtzionamenduaren hasiera	Enpresa garatzailea	Kokapena
A Guarda	OWC	600	2010 ⁽¹⁾	Sea Energy	Galizia
Abencis Seapower	Gorputz flotatzailea	—	2010 ⁽¹⁾	Abencis Seapower S.L	—
AquaBuoy	Gorputz flotatzailea	4 x 250	2007 ⁽³⁾	Finavera Renewables	Makah Bay, Washington, AEB
AWS-III	Talkakoa	2.500	2013 ⁽²⁾	AWS Ocean Energy Ltd	Eskozia
BBDB	OWC	200	2002 ⁽³⁾	Yoshio Masuda	Irlanda
BioWAVE	Talkakoa	250	⁽²⁾	Bio Power Systems	Port Fairy, Australia
CETO-II	Gorputz flotatzailea	200	⁽³⁾	Carnegie	Fremantle, Australia

Proiektua	Funtzionamenduaren oinarria	Instalaturako potentzia (kW)	Funtzionamenduaren hasiera	Enpresa garatzailea	Kokapena
Energetech OWC	OWC	500	2006 ⁽³⁾	Energetech Aistralia Pty Ltd	Port Kembla, Australia
Green Wave	OWC	500	2006 ⁽³⁾	Energetech Aistralia Pty Ltd	Point Judith RI, Australia
EPAM	Gorputz flotatzailea	—	2008 ⁽³⁾	SRI International	Kalifornia, AEB
FO ³ 1:3	Gorputz flotatzaile anitza	—	2005 ⁽³⁾	SEEWEC	Norvegia
Granadilla	OWC	600	⁽¹⁾	Cabildo de Tenerife	Tenerife, Kanaria uharteak
Hidroflot	Gorputz flotatzailea	6.000	garapenean ⁽³⁾	Hidroflot Technologies	Asturias
Limpet	OWC	500	2000 ⁽¹⁾	Vith Hydro Wavegen Ltd	Islay, Eskozia
McCabe Wave Pump	Gorputz flotatzaile anitza	—	2004 ⁽³⁾	Hydrum Technology Ltd	Shannon Estuary, Irlanda
Mighty Whale	OWC	120	1998 ⁽³⁾	JAMSTEC	Nansei, Japonia
Mutriku	OWC	296	2011 ⁽¹⁾	EVE eta E.J	Mutriku, Euskal Herria
Muxia	Gorputz flotatzaile anitza	2.250	⁽¹⁾	—	Galizia
MWEC Power Take off	Xurgatzaile puntuala	100	⁽²⁾	SARA. Inc	—
Oceantec	Xurgatzaile puntuala	500	2011 ⁽³⁾	Oceantec E. Marinas S.L	Pasaia, Euskal Herria
OMI WavePump 1:20	Xurgatzaile puntuala	—	⁽²⁾	Ocean Motion International	—

Olatu-energiaren bilakaera

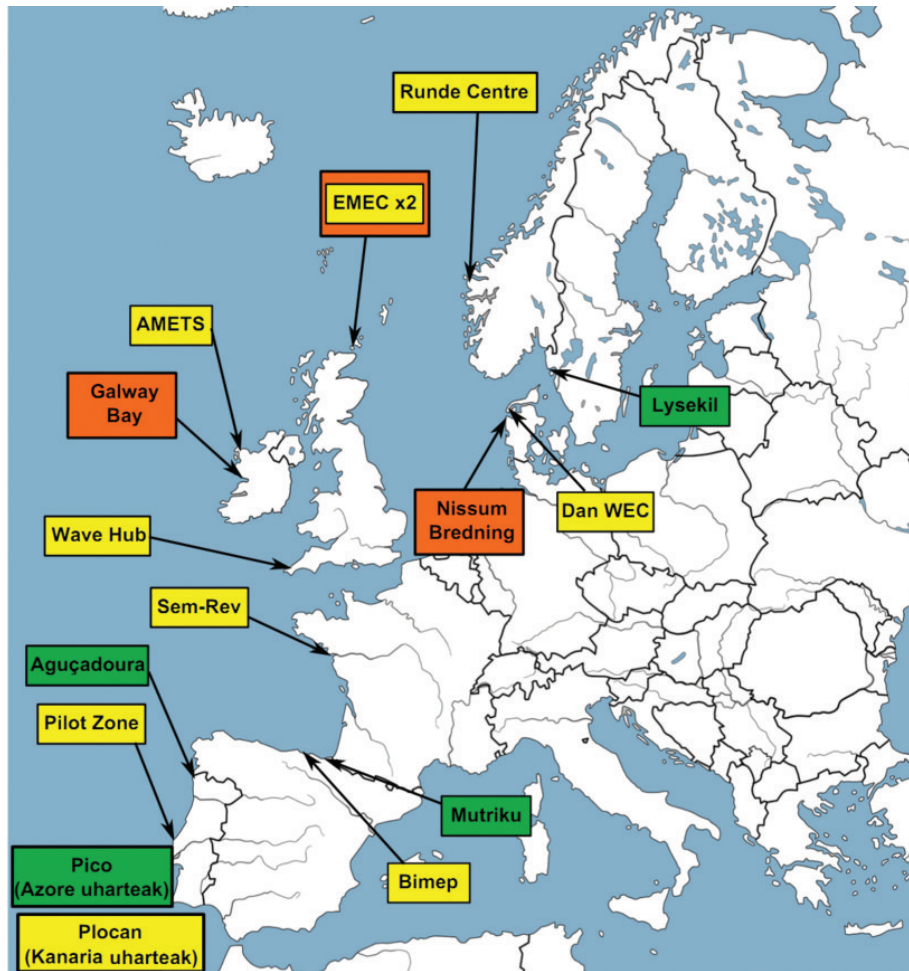
Proiektua	Funtzionamenduaren oinarria	Instalatutako potentzia (kW)	Funtzionamenduaren hasiera	Enpresa garatzailea	Kokapena
Oyster 800	Talkakoa	800	2011 ⁽³⁾	Aquamarine Power	Orkney, Eskozia (EMEC)
Pelamis 2	Gorputz flotatzaile anitza	750	2010 ⁽³⁾	Pelamis Wave Power Ltd	Orkney, Eskozia (EMEC)
Pendulor	Talkakoa	250	2001 ⁽³⁾	Muroran Institute of Technology	Sri Lanka
Pico OWC	OWC	400	2003 ⁽¹⁾	Wave Energy Centre	Azore uharteak, Portugal
Pipo Systems	Xurgatzaile puntuala	1.600	⁽³⁾	—	Galizia
Power Buoy	Gorputz flotatzailea	1.390	2009 ⁽¹⁾	Ocean Power Technologies	Santoña, Kantabria
Power Buoy	Gorputz flotatzailea	40	2004 ⁽¹⁾	Ocean Power Technologies	Kanehoe Bay, Hawaii, AEB
Sabón	OWC	—	1994 ⁽¹⁾	—	Galizia
Wave Dragon	Gainezkako-sistema	1.500	⁽²⁾	Wave Dragon	Danimarka
Wave Plane	Gainezkako-sistema	200	⁽³⁾	Wave Plane	Japonia
Wave Star 1:2	Gorputz flotatzaile anitza	600	2009 ⁽³⁾	Wave Star Energy	Danimarka
Wave Treader	Gorputz flotatzailea	—	⁽²⁾	Green Ocean Energy Ltd	—
Wavebob 1:4	Xurgatzaile puntuala	500	2006 ⁽³⁾	Wavebob Ltd	Galway, Irlanda
WaveRoller	Talkakoa	300	2011 ⁽³⁾	AW Energy	Peniche, Portugal

(1): Frogaketa-zentroa

(2): I+G proiektua

(3): Prototipoaren saiakera

(4): Azpiegituraren saiakera



Herrialdea	Kokapena	Izena	Azalera (km ²)	Urtea	Sare konexioa
Danimarka	Roshage Pier, Hanstholm	Dan WEC		2009	Bai
Ingalaterra	St. Ives Bay, Cornwall	WaveHub	8	2010	11 kV-33 kV
Frantzia	Le Croisic, Loireko Herrialdeak	SEMREV	1	2007	20 kV
Irlanda	Belmullet, Co.Mayo	AMETS	21	2008	20 kV
Norvegia	Runde uhartea	Runde Centre		2008	22 kV
Portugal	Sao Pedro de Muel	Pilot Zone	320	2007	Bai
Eskozia	Orkney	EMEC	5	2002	11 kV
Espainia	Armintza, Euskal Herria	BIMEP	5.3	2012	13.2 kV
Espainia	Kanaria uharteak	PLOCAN		2011	Ez
Danimarka	Nissun Bredning	Danish Benign		2000	Bai
Irlanda	Spiddal, Co.Galway	Galway Bay	0.37	2006	Ez
Eskozia	Orkney	EMEC-nursery		2011	Bai
Portugal	Azore uharteak	Pico		1999	
Portugal	Aguçadoura	Aguçadoura		2007	Bai
Espainia	Mutriku, Euskal Herria	Mutriku		2011	300 kV
Suedia	Lysekil	Lysekil	0.04	2003	20-25 kV

- Eskala handiko frogaketa-guneak
- Eskala osoko frogaketa-guneak
- Erakusketa-guneak

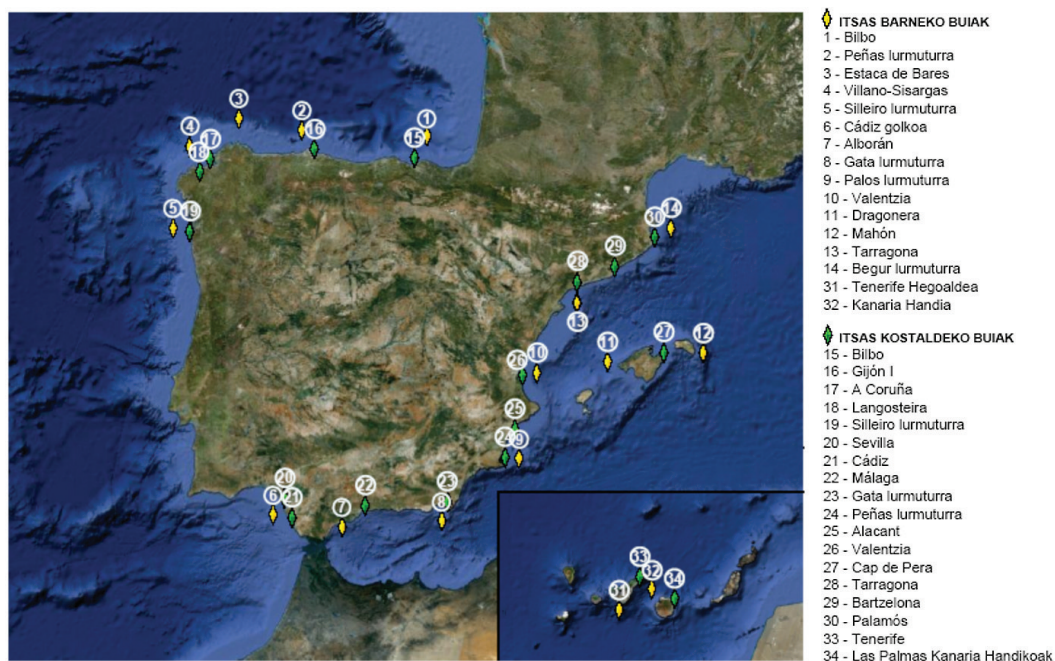
7. irudia. Europako olatu-energiaren frogaketa-zentroyen kokapena.

IV. IBERIAR PENINTSULAREN IPAR KOSTALDEKO OLATU-ENERGIAREN USTIAPEN-ZONALDEAK

Olatu-energia hautatzearen arrazoietakoa bat da Iberiar Penintsulako ipar kostaldea 30°-60° latitudeen artean, egotea; hau da, olatu-energia potentzial altuko zonalde batean (5. irudia). Atal honetan, kuantifikatu egingo da baieztapen hori, eta ustiapenerako gune egokienak zehaztuko dira.

Olatu-energiaren ustiapena helburua izanik, zehaztasunez jakin behar da zein potentzia dagoen eskuragai. Hori ezagutzearren, Kantabriako Unibertsitateko «Hidráulica Ambiental» izeneko institutuak «Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía (IDAE)» erakundeak eskatuta, Espainiako itsas energia potentzialeko atlas sortu du (Atlas del Potencial del Recurso de la Energía de las Olas en el Litoral Español, ENOLA). Bertan espainiar kostaldeko energia-fluxua adierazten da eskala kromatikoa baten bitartez [53]. Informazio hori abiapuntu izanik, lan honetan ikerketa sakonago bat egingo da, ustiapen-aldetako egokien potentzialaren ezagutza landuagoa lortzeko.

Atlas berria egiteko, Puertos del Estado erakundeak [54] dituen neurketa-sareetatik lortutako txostenetara jo behar izan da. Neurketa-sare horiek uhinak neurtzen dituzten *Wavescan* eta *Sea Watch* motako buiez daude osaturik. Ondoko 8. irudian ikus daiteke non dauden kokatuta aipaturiko buiak (berdez kostaldeko buiak eta hori kolorez itsas barneko buiak).



8. irudia. Datu-buien kokapen geografikoa.

Urtean zehar altuera esangarri jakin bateko (H_s) eta punta-periodo jakin bateko (T_p) olatua gertatzeko probabilitatea adierazten dute aipaturiko txostenek; hau da, altuera eta periodo jakin bateko olatuak urtero leku jakin batean agertzeko portzentajea (%). Luzera unitateko uhin-fronteak duen batez besteko potentzia (kW/m) kalkulatzeko, ondoko ekuazioa erabiltzen da [55]:

$$P = kH_s^2T_p \quad (1),$$

non H_s delakoa olatuaren altuera den metrotan, T_p periodoa segundotan, eta k olatuaren espektroaren araberako konstante bat, zeinak 0.45-0.65 bitarteko balioak hartzen dituen [56]. Lan honetan $k = 0.5$ finkatu da, G. Hagerman adierazten den moduan [55].

Kostaldeko edota sakonera txikiko uretan itsas ohandzearekiko elkarrekintza nabarmena dela-eta (beste hainbat perturbazioen artean), olatuek energia-galera garrantzitsua jasaten dute. Ur sakonetan izaten den sakonera erlatiboa $h > \lambda/2$, (λ , uhin-luzera; h , sakonera) kostaldeko uretan ez da izaten; ondorioz, (1) ekuazioa askoz ere konplexuago bilakatzen da [57]:

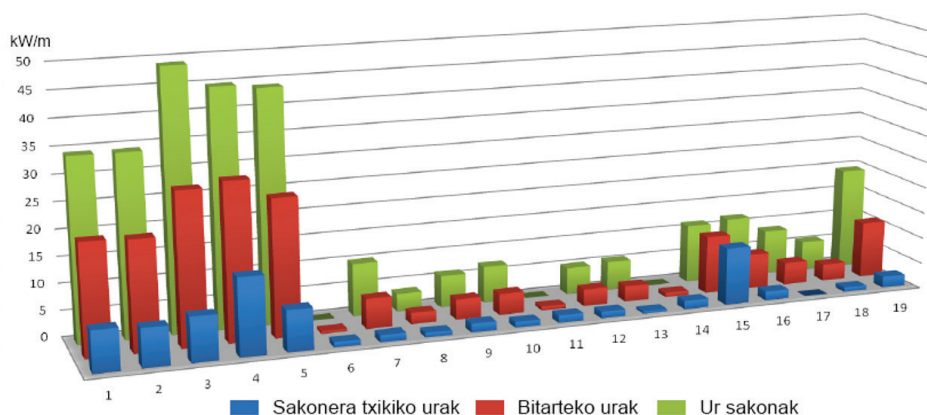
$$P = \frac{\rho g H_s^2 T_p}{32\pi} \tanh\left(\frac{2\pi}{\lambda} h\right) \left(1 + \frac{\frac{4\pi h}{\lambda}}{\sinh\frac{4\pi h}{\lambda}}\right) \quad (2),$$

non ρ itsasoko uraren dentsitate energetikoa den (1028 kg/m^3) eta g grabitateak (9.81 m/s^2).

Ekuazio bakoitza txostenetan dagokion kasuan erregistratutako datuetan ezarriz, 9. irudiak erakusten dituen emaitzak lortzen dira. Ur sakonen eta kostaldeko uren bitarteko zonaldeko gutxi gorabeherako potentziala kalkulatzeko, horien arteko batez besteko aritmetikoa egin da; izan ere, kokapen horietan ez dago buiarik datuak lortzeko.

Bestalde, 9. irudia arretaz aztertuz antzeman daiteke ezen galiziar eta kantabriar itsasaldekoak potentzial egokiak direla ustiapenerako, 34-49 kW/m bitarteko potentzialak izanik. Izaera hori modu egokiago batean jasotzen da 9. irudian. Era berean adierazten da Galizia dela potentzialik handienak dituen eskualdea (ur sakonetan 44-49 kW/m, eta sakonera txikietan 26-28 kW/m). Halaber, aipatzekoa da kostaldeko uretan izaten den potentzia-galera kW/m.

Espainiako Ingurumen Ministerioak 2009an onetsi zuen «Estudio Estratégico Ambiental del litoral Español para la Instalación de Parques Eólicos Marinos (EEAL)» izeneko azterketa [58]. Azterketa horrek kokapen



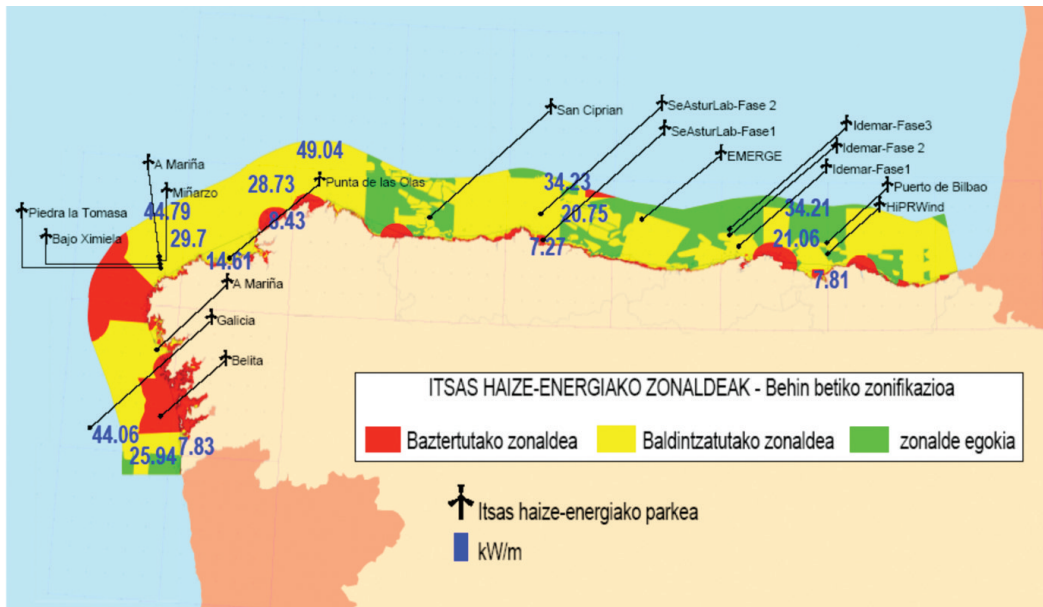
Id.	ITSAS BARNEKO BUIAK	UR SAKONAK (kW/m)	ITSAS KOSTALDEKO BUIAK	SAKONERA TXIKIKO URAK (kW/m)	BITARTEKO URAK (kW/m)
1	Bilbo	34.31	Bilbo	7.81	21.06
2	Peñas lurmuturra	34.23	Gijón II	7.27	20.75
3	Estaca de Bares	49.04	A Coruña	8.43	28.73
4	Villano Sisargas	44.79	Langosteira	14.61	29.70
5	Silleiro	44.06	Silleiro	7.83	25.94
6	DE	DE	Sevilla	0.98	DE
7	Cádiz golkoa	10.03	Cádiz	1.37	5.70
8	Alborán	3.41	Málaga	0.88	2.14
9	Gata lurmuturra	6.07	Gata lurmuturra	1.65	3.86
10	Palos lurmuturra	7.00	Palos lurmuturra	1.11	4.05
11	DE	DE	Alacant	1.46	DE
12	Valentzia	5.14	Valentzia	1.27	3.20
13	Tarragona	5.51	Tarragona	0.48	2.99
14	DE	DE	Bartzelona	1.62	DE
15	Begur lurmuturra	11.20	Palamós	10.99	11.09
16	Dragonera	8.58	DE	DE	DE
17	Mahón	11.79	Cap de Pera	1.74	4.29
18	Tenerife	5.59	Tenerife	0.81	3.20
19	Kanaria Handia	19.50	Las Palmas, Kanaria Handikoa	2.17	10.83

DE: Ez dira daturik aurkitu

9. irudia. Iberiar Penintsulako olatu-energia.

egokiak finkatzen ditu itsasoko haize-energiako parkeak eraikitzeko, ingurune kontuei soilik erreparatuz. Horixe da egun Espainiako gobernuaren ikuspegia itsas energiaren garapenaren inguruan adierazten duen dokumentu bakarra; beraz, olatu-energiaren kokapen egokirako eredutzat har daiteke [45]. Beraz, aurretik kalkulaturako olatuen potentzialaren banaketa (9. irudia) mapa batean irudikatzen bada, eta horri itsasoko haize-energiaren zonifikazio-mapa gainjartzen bazaio, modu askoz zehatzago batean ezagutuko dira energia-ustiapena onartzen duten zonaldeak (10. irudia); izan ere, 9. irudian adierazitako zonalde batek potentzial handia izan dezake baina zonifikazio-mapa gainjartzean, gerta daiteke baztertutako zonalde bat izatea, eta ondorioz bertan olatuen energia ustiatu ezin izatea; edo alderantzizkoa ere suerta daiteke.

Mapari so eginez (10. irudia) ikusten denez, itsasaldeko zonalde ia guztiak balio gabetarik daude, eta gehienbat baldintzatutako zonaldeak eta baztertutako zonaldeak dira. Hala eta guztiz ere, ez dira gutxi egokiak diren zonaldeak, nahiz eta ingurumen-baldintzak aztertu beharra dagoen hainbat lekutan energia-ustiapenerako instalazioak ezartzekotan. Honi guztiari



10. irudia. Iberiar Penintsularen ipar kostaldeko energia-fluxua (kW/m).

dagoeneko onarturik dauden itsasoko haize-energiako parkeak eraikitzen diren proiektuak gehitu behar zaizkio. 4C Offshore konpainiak munduko itsasoko haize-energiako parke guztiak (lanean zein proiektatuta daudenak) eraikusten dituen mapa landu du [59]. Espainiako ipar kostaldean 16 proiektu daude onetsita, gehienak kontzeptu-fase batean; izan ere, horietako bi alboratuta daude antza. Beraz, parke horiek kontuan izanda (10. irudia), olatu-bihurgailuen instalazioa arriskuan jar dezaketen zonalde jakin batzuk ere identifikatu dira. Esan behar da itsas haize-energiako parkeak ez direla zertan olatu-energiarentzako txarrak izan; izan ere, posible izan liteke elkarrekin jardutea.

Bestalde, behin Iberiar Penintsularen iparraldeko potentzia maila zein den jakinda, eskualde horiek horni dezaketen energia-eskaera ezagutzera ematen duen azterketa labur bat egin daiteke kasu partikular baten modura. Horretarako jakin behar da etxe bateko urteko batez besteko energia-kontsumoa zein den; Espainiaren kasuan, 0.977 Tep^2 etxebizitzakoa dugu, hau da, urtean 11.333 kWh etxe bakoitzeko [60].

Etxebizitza bakoitzeko kontsumoa eskualde bakoitzak duen olatu-potentzialarekin alderatuz, jakin daiteke teorikoki bertan kokaturiko irudizko olatu-bihurgailu batek (erabateko eraginkortasuna duela emanez) zenbat etxebizitza horni dezakeen. Hala islatzen da V. taulan.

² Tep: petrolio tona baliokide.

V. taula. Urtero lor daitekeen MWh-ak Iberiar Penintsularen ipar kostaldean.

id ³	Itsasaldeko urak		Bitarteko urak		Ur sakonak	
	MWh	Etxebizitza kopurua	MWh	Etxebizitza kopurua	MWh	Etxebizitza kopurua
1	68.41	6.03	184.48	16.27	300.55	26.52
2	63.68	5.61	181.77	16.03	299.85	26.45
3	73.84	6.51	251.71	22.21	429.59	37.90
4	127.98	11.29	260.17	22.95	392.36	34.62
5	68.59	6.05	227.27	20.05	385.96	34.05

Taulan aipatzen diren MWh-ak, MWh gordinak dira. Errealitatearen datu zehatzagoak izateko energia netoa kalkulatu behar da. Horrek erlazio zuzena dauka instalaturiko bihurgailu mota bakoitzaren eraginkortasunarekin. Helburua lortzeko, hainbat olatu-bihurgailuren eraginkortasuna eta instalazioaren errendimenduaren konparaketa egin da [47]; horietatik, Pelamis P1 (11(a). irudia) eta Wave Dragon (11(b). irudia) bihurgailuak aukeratu dira. Bihurgailu horiek hautatu dira ospetsuenak direlako eta haien potentzia-matrizea ezaguna delako [61]. Beraz, datu horiekin guztiekin, urte oso batean lanean egongo direla suposatuz, sor daitekeen energia netoa kalkulatu da (VI. taula). Aldez aurretik garbi eduki behar da bihurgailu biak (Pelamis eta Wave Dragon) ur sakonekoak direla.

**11. irudia.** Ospetsuenetako olatu-bihurgailu bi: (a) Pelamis, (b) Wave Dragon.

Kontrako ariketa ere egin daiteke, eta 1.000 etxebizitza (gida gisa) hornitzeko behar den mota horietako bihurgailu kopurua kalkula daiteke (VII. taula). Horrek erakusten du bihurgailu motaren arabera, horien kopurua ez dela gehiegizkoa; are gehiago, gaur egun konbentzionalagoak diren iturri berriztagarrien instalazioek dituzten elementu kopuruaren antzekoa edota hori baino txikiagoa dela. Gainera, bihurgailu mota desberdinak izanik, leku edo kokapen bakoitzerako egokiagoa den aparatua hauta daiteke.

³ id: zonalde identifikazio-zenbakia; 8 eta 9. irudiekin bat dator.

VI. taula. Wave Dragon eta Pelamis olatu-bihurgailuen ekoizpen elektrikoa kantauriar kostaldean.

Ur sakonak	Pelamis 750 kW		Wave Dragon 5900 kW	
	Urtean xurgaturiko potentzia GWh	Urteko ekoizpen elektrikoa GWh	Urtean xurgaturiko potentzia GWh	Urteko ekoizpen elektrikoa GWh
Estaca de Bares	1.28	0.06	26.01	2.86
Bilbao	0.82	0.04	18.49	2.03
Peñas lurmuturra	0.84	0.04	18.54	2.03
Silleiro lurmuturra	1.13	0.05	24.34	2.67
Villano Sisargas	1.44	0.07	26.24	2.88

VII. taula. Olatu-bihurgailuen kopurua 1000 etxebizitza hornitzeko.

Ur sakonak	Pelamis 750 kW kopurua	Wave Dragon 5900 kW kopurua
Estaca de Bares	176.45	3.96
Bilbao	274.08	5.57
Peñas lurmuturra	267.59	5.55
Silleiro lurmuturra	199.72	4.23
Villano Sisargas	156.34	3.92

V. ONDORIOAK

Olatuen-energia iturri berriztagarri bat da; ondorioz, ez du CO₂-rik igortzen ezta partikula kutsatzailerik ere. Horrez gain, garatutako herrialdeek duten energia-menpekotasunaren igoerak olatuen bitarteko energia-erazketa sustatzen du. Europak olatu-energiaren alde apustu egiten du hainbat frogaketa-gune eta aurrekontu handiko I+G proiektuak bultzatuz. Ikusi denez, Iberiar Penintsularen ipar kostaldea zonalde egokia da energia horren aprobetxamendurako 34-49 kW/m bitarteko potentziala izanik. Gainera, proiektu horrek lanpostuen sorrera bultzatzen dezake; izan ere, olatu-energiaren instalazioek dakartzaten fabrikazioak, garraioak, funtzionamenduak eta mantentze-lanak diru-sarrerak eta lanpostuak sortu ditzakete. Halaber, gobernuentzat olatu-energia duen garrantzia antzemateko, horrentzat sortzen ari den lege eta arautegi berrietara jo daiteke.

VI. ESKERRAK

EJ eta MCiren diru-laguntzei esker egin da hurrenez hurren S-PE11 UN002, IT394-10 eta IPT-370000-2010-28 proiektuen barne.

BIBLIOGRAFIA

- [1] FERNANDEZ DíEZ Pedro. *Energía maremotriz*. Txosten teknikoa, Departamento de Ingeniería Eléctrica y Energética, Universidad de Cantabria.
- [2] ROURKE F.O., BOYLE F. eta REYNOLDS A. 2010. «Tidal energy update 2009». *Applied Energy*.
- [3] KING J. eta TRYFONAS T. 2009. «Tidal stream power technology - state of the art». *Oceans 2009-Europe (Oceans)*.
- [4] ROURKE F. 2010. «Marine current energy devices: Current status and possible future applications in ireland». *Renewable and Sustainable Energy Reviews*.
- [5] www.seageneration.co.uk.
- [6] www.openhydro.com.
- [7] VEGA L.A. 2002. «Ocean thermal energy conversion (otec)». *Marine Technology Society*, 25-35.
- [8] MAGESH R. 2010. «Otec technology - a world of clean energy and water». *World Congress on Engineering (WCE)*.
- [9] THORSEN T. eta HOLT T. 2009. «The potential for power production from salinity gradients by pressure retarded osmosis». *Journal of Membrane Science*, 103-110.
- [10] DREW B., PLUMMER A.R., eta SAHINKAYA M.N. 2009. «A review of wave energy converter technology. Institution of Mechanical Engineers, Part A». *Journal of Power and Energy*, 887-902.
- [11] VILLATE Jose Luis. 2010. «Situación actual de las energías marinas y perspectivas de futuro». *Seminario Anual de Automática, Electrónica e Instrumentación (SAAEI)*.
- [12] THORPE T. W. 1999. *A brief review of wave energy*. Txosten teknikoa, UK Department of Trade and Industry.
- [13] FALCÃO António F. de O. 2010. «Wave energy utilization: A review of the technologies». *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 899-918.
- [14] DALTON G.J., ALCORN R. eta LEWIS T. 2010. «Case study feasibility analysis of the pelamis wave energy convertor in ireland, portugal and north america». *Renewable Energy*, 443-455.
- [15] AHMED T., NISHIDA K. eta NAKAOKA M. 2010. «Grid power integration technologies for offshore ocean wave energy». *Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE)*.
- [16] HIDALGO OLEA Lucía. 2009. *Análisis del potencial energético del oleaje. Aplicación a la isla de Lanzarote*. PhD thesis, Universidad Politécnica de Cataluña.

- [17] IBAÑEZ EREÑO Pedro. 2008. «Energía de las olas: Situación y futuro». *Xornada sobre Enerxía que Vén do Mar*. Instituto Universitario de Estudios Marítimos, Universidad da Coruña.
- [18] FERNANDEZ DÍEZ Pedro. *Técnicas que aprovechan la energía de las olas (vol 1)*. Txosten teknikoa, Departamento de Ingeniería Eléctrica y Energética, Universidad de Cantabria.
- [19] CLÉMENT A., MCCULLEN P. eta FALCÃO A. 2002. «Wave energy in Europe: Current status and perspectives». *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 405-431.
- [20] PELC R. eta FIJITA R. M. 2002. «Renewable energy from the ocean». *Marine Policy*, 471-479.
- [21] FUNDACIÓN INSTITUTO TECNOLÓGICO PARA EL DESARROLLO DE LAS INDUSTRIAS MARÍTIMAS (INNOVAMAR). 2009. «Tecnologías para el aprovechamiento de la energía de las olas y de las corrientes marinas». *Boletín de Inteligencia Tecnológica*.
- [22] FALNES Johannes. 2007. «A review of wave-energy extraction». *Marine Structures*, 185-201.
- [23] MINISTERIO DE INDUSTRIA TURISMO Y COMERCIO. 2010. *Plan de Acción Nacional de Energías Renovables de España (PANER) 2011-2020*.
- [24] CONTI J. eta DOMAN L. 2010. *International energy outlook*. Txosten teknikoa, U.S. Energy Information Administration.
- [25] *State of the art analysis, a cautiously optimistic review of the technical status of wave energy technology*. Txosten teknikoa, Intelligent Energy Europe, 2009.
- [26] www.waveplam.eu.
- [27] www.marine.ie.
- [28] hmrc.ucc.ie/cores.
- [29] www.equimar.eu.
- [30] www.supergenmarine.org.uk.
- [31] www.wavetrain2.eu.
- [32] www.marinaplatform.info.
- [33] EU INTELLIGENT ENERGY EUROPE. 2011. *Streamlining of Ocean Wave Farms Impact Assessment (SOWFIA)*. Txosten teknikoa.
- [34] www.energiasmarinas.es/cas/psemar.aspx.
- [35] RODRIGUEZ R., RICCI P., SALCEDO F., RUIZ-MINGUELA P. eta SANTOS M. 2009. «Oceantec: Sea trials of a quarter scale prototype». *Proceedings of the 8th European Wave and Tidal Energy Conference*, 460-465.
- [36] TORRE-ENCISO Yago. 2009. «Planta de energía de las olas de Mutriku». *3.ª Jornada Internacional de Energía Marina*.
- [37] www.oceanlider.com.
- [38] www.eve.es/web/EnergiasRenovables/Energia-marina/bimep.aspx.
- [39] ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS (ONU) / UNITED NATIONS (UN). 1998. *Protocolo de Kyoto de la convención marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático*.

- [40] MINISTERIO DE INDUSTRIA TURISMO Y COMERCIO. 2005. *Plan de Energías Renovables en España (PER) 2005-2010*.
- [41] INSTITUTO PARA LA DIVERSIFICACIÓN Y AHORRO DE ENERGÍA (IDAE). 2011. *Resumen del plan de energías renovables 2011-2020*.
- [42] CONSEJO DE LA UNIÓN EUROPEA. 2007. Consejo Europeo de Bruselas 8 y 9 de marzo de 2007. Conclusiones de la presidencia.
- [43] MINISTERIO DE LA PRESIDENCIA. 2007. Real Decreto 1028/2007.
- [44] PARLAMENTO EUROPEO Y EL CONSEJO DE LA UNIÓN EUROPEA. 2009. Directiva 2009/72/ce del parlamento europeo y del consejo de 13 de julio de 2009 sobre normas comunes para el mercado interior de la electricidad y por la que se deroga la directiva 2003/54/ce.
- [45] CHOZAS J.F. eta SOERENSEN H.C. 2009. «State of the art of wave energy in Spain». *IEEE Electrical Power & Energy Conference*.
- [46] CENTRE FOR RENEWABLE ENERGY SOURCES (CRES). 2002. *Wave energy utilization in europe: Current status and perspectives*. Txosten teknikoa, European Thematic Network on Wave Energy.
- [47] FERNANDEZ DÍEZ Pedro. *Técnicas que aprovechan la energías de las olas (vol. 2)*. Txosten teknikoa, Departamento de Ingeniería Eléctrica y Energética, Universidad de Cantabria.
- [48] O'SILLVAN D.L. eta LEWIS T. 2008. «Generator selection for offshore oscillating water column wave energy converters». *International Power Electronics and Motion Control Conference (EPE-PEMC)*, 1813-1820.
- [49] POLINDER H. 2005. «Design, modelling and test results of the aws pm linear generator». *European Transactions on Electrical power*, 245-256.
- [50] COMISIÓN ELECTROTÉCNICA INTERNACIONAL (IEC). 2008. *Energías renovables*.
- [51] QUARTON D., HASSAN G. eta PARTNERS Ltd. 2005. *An international design standard for offshore wind turbines: Iec 61400-3*.
- [52] RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA. P.o.12.3 requisitos de respuesta frente a huecos de tensión de las instalaciones de producción de régimen especial.
- [53] www.ihcantabria.com/enola.
- [54] www.puertos.es.
- [55] HAGERMAN George. 2001. *Southern new england wave energy resource potential*. Txosten teknikoa, Research Associate Center for Energy and the Global Environment Virginia Tech Alexandria Research Institute.
- [56] CHIANG E.P. 2003. «The potential of wave and offshore wind energy in around the coastline of malaysia that face the south china sea». *International Symposium on Renewable Energy: Environment Protection & Energy Solution for Sustainable Development*.
- [57] FERNANDEZ DÍEZ Pedro. *Energía de las olas*. Txosten teknikoa, Departamento de Ingeniería Eléctrica y Energética, Universidad de Cantabria.
- [58] *Estudio estratégico ambiental del litoral español para la insatención de parques eólicos marinos*. Txosten teknikoa, Ministerio de Medio Ambiente, 2009.

- [59] www.4coffshore.com/offshorewind.
- [60] INSTITUTO PARA LA DIVERSIFICACIÓN Y AHORRO DE ENERGÍA (IDAE). 2010. *Consumo de energía por hogar*. Txosten teknikoa, Banco Público de Indicadores Ambientales del Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino.
- [61] UNIVERSITY OF OXFORD ENVIRONMENTAL CHANGE INSTITUTE. 2005. *Variability of uk marine resources*. Txosten teknikoa.