

SITUACIÓN ACTUAL Y PERSPECTIVAS DE FUTURO DE LA ENERGÍA HIDRÁULICA MARINA EN ASTURIAS

Jennifer Poncelas Molina^[*]; José Antonio Gutiérrez Trashorras^[], José Pablo
Paredes Sánchez^[**]
Alumno^[*]; Tutor(es)^[**]
UO155766@uniovi.es**

Departamento de Energía. Universidad de Oviedo.

RESUMEN

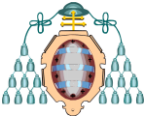
La evolución de los precios del petróleo y la distribución geográfica de las reservas de energía, así como, las preocupaciones ambientales, en especial la reducción de los gases de efecto invernadero, han dado paso al desarrollo de las infraestructuras energéticas y la promoción de las energías renovables, el ahorro y la eficiencia energética. De esta forma las energías del mar se presentan como un recurso renovable, en pleno desarrollo de I+D+i e inagotable, lo que hace propicio el estudio de dicho recurso en la costa asturiana ligado al continuo declive de nuestra región en materia económica, laboral y tecnológica, y también como una buena alternativa de futuro para el abastecimiento energético de Asturias en protección de nuestro amplio patrimonio natural.

Se analizarán los diferentes recursos del mar, optando por el estudio de la energía de las olas o undimotriz por ser la más viable en la zona. Tras caracterizar el recurso en toda la costa asturiana se caracterizará y propondrá una tecnología de aprovechamiento para cada región en las que se ha dividido la costa. Los resultados obtenidos son alentadores en base a un aprovechamiento futuro de dicho recurso energético en nuestra región.

ABSTRACT

The evolution of oil prices and the geographical distribution of energy reserves, as well as environmental concerns, in particular the reduction of greenhouse gases, have led to the development of energy infrastructure and promotion of renewable energy, energy saving and efficiency. Thus the energy of the sea are presented as a renewable resource in the development of R + D + i and inexhaustible, which makes enabling the examination of this appeal on the Asturian coast linked to the continuing decline of our region in economic, labor and technology, as well as a good alternative for the future energy supply of Asturias in protecting our vast natural heritage.

The various resources of the sea, opting for the study of wave power or wave to be the most viable in the area will be analyzed. After characterizing the resource throughout the Asturian coast it will be characterized and propose technology utilization for each region in which it has divided the coast. The results are encouraging based on the future use of this energy resource in our region.



1. INTRODUCCIÓN

La evolución de los precios de los combustibles fósiles y la distribución geográfica de las reservas de energía han condicionado las opciones energéticas de los países desarrollados.

El consumo de recursos tradicionales, como el petróleo y el carbón, genera emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI). Los GEI causan efectos sobre el cambio climático. El uso de combustibles fósiles, la distribución de las reservas de energía y los precios de las materias primas energéticas confieren a las fuentes renovables de energía una importancia creciente en políticas energéticas y medioambientales [1]. Por otra parte, la lucha contra el cambio climático es una prioridad política en materia de medio ambiente en la Unión Europea (UE). En este contexto, el uso de las energías renovables constituye una parte fundamental del paquete de propuestas necesarias para reducir las emisiones de GEI y para cumplir con el Protocolo de Kioto y otros compromisos internacionales.

Para la UE, es sumamente importante aumentar progresivamente el grado de autoabastecimiento energético con la implantación progresiva de nuevas fuentes de energía, sostenibles e inagotables.

Uno de los acuerdos primordiales adoptados por la Unión Europea en materia de energía y sostenibilidad es el conocido como "Compromiso de los Cinco Veintes" [3]. Este acuerdo propone como estrategia para 2020 lo siguiente:

- Reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero en un 20% respecto de 1990 con el compromiso bajo acuerdo internacional de elevar el objetivo hasta el 30%.
- Alcanzar el 20% de fuentes renovables en el consumo energético de la UE en 2020 y un 10% en el sector del transporte.
- Aumentar la eficiencia energética con el fin de ahorrar un 20% del consumo energético de la UE respecto de las proyecciones para el año 2020.

Es por ello que se debe centrar los esfuerzos en desarrollar las mejores y más sostenibles energías renovables tanto medioambiental como económicamente.

Para España, con una dependencia energética del 73,3 % [4], resulta todavía más apremiante avanzar en este campo mediante la transición a un nuevo modelo energético.

Para dar respuesta a estos retos la política energética [2] desarrollada en el Plan de Energías Renovables 2011-2020 de España gira alrededor de tres ejes: el incremento de la seguridad de suministro, la mejora de la competitividad de nuestra economía y la garantía de un desarrollo sostenible económica, social y medioambientalmente.

1.1. Un recurso sin explotar: energías del mar

Los mares y océanos constituyen el mayor colector solar y el sistema de almacenamiento de energía más grande del mundo, lo que supone un enorme potencial energético que, mediante diferentes tecnologías, puede ser transformado en electricidad y contribuir a satisfacer las necesidades energéticas actuales.

El recurso energético existente en el mar se manifiesta de distintas formas: oleaje, corrientes marinas, mareas, diferencias de temperaturas o gradientes térmicos y diferencias de salinidad, lo que da lugar a las diferentes tecnologías claramente diferenciadas para el aprovechamiento de la energía del mar. Cabe destacar la energía de las mareas o mareomotriz, energía de las corrientes, energía mareomotérmica, energía de las olas o undimotriz y energía azul o potencia osmótica [5].

A pesar de este gran potencial energético existente, su aprovechamiento está en una etapa relativamente temprana de desarrollo tecnológico, en comparación con otras fuentes renovables, las cuales deberán confirmar su viabilidad en los próximos años.

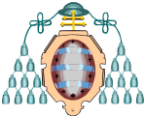
Esto se debe a que las características intrínsecas del mar, hacen que para el aprovechamiento de esta fuente de energía no se haya impuesto una tecnología concreta.

A continuación se van a describir las principales tecnologías actualmente disponibles.

a) Energía de las mareas o mareomotriz

El uso energético de las mareas tiene su fundamento en el ascenso y descenso del agua del mar producida por la acción gravitatoria del Sol y la Luna.

Un proyecto de una central mareomotriz está basado en el almacenamiento de agua en un dique que permite la entrada de agua o caudal a una turbina para la generación eléctrica. De entre todas las posibilidades de aprovechamiento de la



energía del mar, ésta tecnología es la que se encuentra en un estado más maduro y en fase comercial [6].

b) Energía maremotérmica

La energía maremotérmica es la energía basada en el gradiente térmico oceánico definido por la diferencia de temperatura entre la superficie del mar y las aguas profundas, como resultado del grado de penetración del calor solar en el agua del mar.

En las centrales maremotérmicas o de ciclo OTEC (Ocean Thermal Energy Conversion) se transforma la energía térmica en energía eléctrica utilizando el ciclo termodinámico de Rankine para producir energía eléctrica. Para su aprovechamiento se requiere que el gradiente térmico sea de, al menos, 20°C, por lo que las zonas térmicamente favorables se encuentran en las regiones ecuatoriales y subtropicales.

En el proceso, el agua superficial del océano actúa como fuente de calor, mientras que el agua extraída de las profundidades actúa como refrigerante. Estas centrales se pueden instalar en tierra firme o en zonas cercanas a la costa. La tecnología es todavía muy ineficiente y un reto importante para la ingeniería es el diseño de tuberías de gran volumen que lleguen hasta el fondo del océano [7].

c) Energía de las corrientes

Un recurso energético de enorme potencial, de los océanos reside en la energía cinética contenida en las corrientes marinas, que proporcionan un flujo energético constante y estable. Su origen está ligado, entre otras causas, a diferencias de temperatura o de salinidad, a las que se añade la influencia de las mareas. Estos efectos se amplifican cuando la corriente atraviesa zonas estrechas limitadas por masas de terreno, incrementándose la velocidad.

El aprovechamiento de este tipo de energía tiene un inconveniente principal, que es el impacto para la navegación, ya que las mejores corrientes se encuentran en zonas ubicadas principalmente en estrechos o desembocaduras de ríos con gran tránsito marino [8].

d) Potencia osmótica

La potencia osmótica es la energía obtenida por la diferencia en la concentración de sal entre el agua de mar y el agua dulce de los ríos mediante los procesos de ósmosis.

Una planta osmótica se alimenta de agua dulce y salada en cámaras separadas por una

membrana artificial. El agua dulce fluye hacia el lado de agua salada produciendo un incremento de presión que se corresponde con una columna de agua de unos 120 m, que puede ser utilizada en una turbina hidráulica y generar electricidad.

El gradiente salino de los mares es la tecnología más nueva y por lo tanto menos madura dentro de las posibilidades de aprovechamiento de las energías del mar. Para su avance habrá que superar las dificultades de instalación, pues requieren emplazamientos con la presencia simultánea de agua dulce y salada [9].

e) Energía de las olas o undimotriz

Las olas del mar son un derivado terciario de la energía solar. La energía de las olas es la energía producida por el movimiento ondulatorio de la superficie del agua del mar causado por el viento.

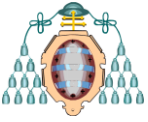
La energía de las olas se concentra en las costas y tiene la propiedad característica de desplazarse a grandes distancias sin apenas perder energía.

La intensidad del oleaje depende de la intensidad del viento, de su duración y de la longitud sobre la cual se transmite la ola. Se trata de una energía constante y predecible con un impacto en el entorno menor que otro tipo de instalaciones. Por todo ello esta será la principal tecnología objeto de estudio [10].

1.2. Perspectivas de desarrollo tecnológico

Actualmente existen casi una decena de proyectos basados en la energía de las mareas o mareomotriz en realización pero su localización, el desembolso de obra civil que supone la construcción de un dique, así como el impacto visual y estructural sobre el paisaje costero, se presentan como barreras importantes para el desarrollo de nuevos proyectos. España no dispone de localizaciones con las características necesarias para instalar una central mareomotriz, a excepción de alguna zona portuaria, cuyo aprovechamiento puede chocar con restricciones asociadas a otras actividades.

En cuanto a la energía maremotérmica se están desarrollando algunos estudios para pasar a una escala de central más comercial en Alemania, Francia, Italia y México pero en España no existe recurso explotable para instalar una planta maremotérmica, debido a la ausencia de suficiente diferencia de temperatura en nuestras costas.



A nivel mundial se están desarrollando estudios de potencial de energía de las corrientes del mar y se conocen algunos ya como el Estrecho de Bósforo en Turquía, el del Estrecho de Torres en Australia, el Estrecho de Malaca entre Indonesia y Singapur, el Estrecho de Cook en Nueva Zelanda y el Estrecho de Gibraltar. En España existen puntos estratégicos para el aprovechamiento, esta vez de corrientes submarinas y mareas, como son el Delta del Ebro, costa Atlántica y el Estrecho de Gibraltar y se han realizado distintas iniciativas. A nivel mundial, la mayor parte de la energía undimotriz se concentra en los Océanos Atlántico y Pacífico, entre las latitudes 40° y 65° y con un potencial de entre 50-100 kW por metro de frente de ola. España posee un importante potencial energético marino, en el que por las características de nuestra costa, parece que solo la energía undimotriz dispone de recurso viable de gran calidad para su futura explotación, aunque también en energía de las corrientes marinas, el sur de la península presenta un gran potencial teórico, pero su viabilidad está muy limitada por las fuertes restricciones por el intenso tráfico marítimo de la zona y su valor ambiental [1].

Los siguientes apartados se centrarán en la energía de las olas por tratarse de la energía con mayor posibilidad de desarrollo en España por su importante potencial.

1.2.1. Energía de las olas o undimotriz

La tecnología para el aprovechamiento de la energía de las olas se encuentra todavía en un estado incipiente, que necesita un mayor desarrollo para llegar a ser competitiva, en comparación con otras energías renovables. Este estado tecnológico pre-comercial está marcado por grandes oportunidades para el futuro pero también numerosas barreras por superar.

Los dispositivos tecnológicos de captación o convertidores deben absorber la energía mecánica de las olas, de forma completamente aleatoria ya que el movimiento de las olas varía continuamente, y convertirla en energía eléctrica. Se pueden aprovechar tres fenómenos básicos que se producen en las olas:

- **Empuje** de la ola: se aprovecha la velocidad horizontal del agua mediante un obstáculo.
- **Variación de la altura** de la superficie de la ola: se aprovecha el movimiento alternativo vertical de las olas con estructuras flotantes.

- **Variación de la presión** bajo la superficie de la ola: volumen de aire sometido a presión variable por el oleaje.

Estas tecnologías se clasifican según su ubicación, principio de captación y tamaño, orientación del dispositivo respecto al frente de ola y comportamiento dinámico.

Entre las tecnologías de captación desarrolladas cabe mencionar los sistemas basados en:

a) Diferencias de presión en un fluido

Son dispositivos basados en el aprovechamiento de la diferencia de presión creada por el oleaje en un fluido, normalmente aire, que opera como medio de transferencia. En la actualidad, se pueden destacar dos tipos principales: columna de agua oscilante (Oscillating Water Column-OWC) y efecto Arquímedes [16].

b) Cuerpos flotantes

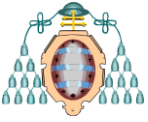
Son dispositivos constituidos por un cuerpo flotante que es movido por las olas. El movimiento oscilatorio que se aprovecha puede ser vertical, horizontal, en torno a un eje (cabecero) o una combinación de los anteriores. Por otra parte, este movimiento puede ser absoluto entre el cuerpo flotante y una referencia fija externa (anclaje al fondo o lastre) o bien movimiento relativo entre dos o más cuerpos, siendo los primeros los más abundantes. De todos los dispositivos existentes, el que está en una fase más avanzada de desarrollo es Pelamis de la compañía escocesa Pelamis Wave Power [16].

c) Sistemas de rebosamiento y/o impacto

Son dispositivos en los que las olas inciden en una estructura, lo que consigue aumentar su energía potencial, su energía cinética o ambas. Un sistema *offshore* representativo es Wave Dragon, desarrollado en Dinamarca por la empresa del mismo nombre o el Oyster, desarrollado por la compañía escocesa Aquamarine Power [16].

d) Absorbedores puntuales

Estos sistemas presentan estructuras pequeñas, en comparación con la ola incidente, capaces de captar no solo la energía de la porción de la ola directamente incidente, sino también la de un entorno más o menos amplio, siendo indiferentes a la dirección de propagación de la ola. Generalmente se colocan varios absorbedores puntuales agrupados formando una línea. Ejemplos tipo boya, como el sistema AquaBUOY de la compañía irlandesa Finavera Renewables o PowerBuoy de la empresa estadounidense Ocean Power Technologies [16].



En cuanto a los parámetros principales a tener en cuenta para determinar si una zona es energéticamente viable para su aprovechamiento son [12]:

- **H_{mo}**: altura de ola significativa (m)
- **J**: potencia de la ola (kW/m)
- **(E)_{anual}**: energía media anual de la ola (MWh/m)

1.3. Evaluación del potencial de energía de las olas

España posee un importante potencial energético marino, en el que por las características de nuestra costa, la energía undimotriz dispone de recurso de gran calidad para su viabilidad y desarrollo. Por este motivo, IDAE ha realizado el *Estudio de la Evaluación del Potencial de Energía de las Olas en España* con el objetivo de elaborar un atlas del potencial del recurso energía del oleaje para todo el litoral español, para su integración en el Plan de Energías Renovables 2011-2020 [1].

A la vista de los resultados obtenidos en dicho estudio, se pueden extraer las siguientes conclusiones [4]:

a) En cuanto al potencial:

- Galicia presenta los valores de potencial de energía más elevados, con potencias medias en profundidades indefinidas entre 40-45 kW/m.
- El Mar Cantábrico es, en segundo lugar, la siguiente zona del litoral en cuanto a recurso (alrededor de 30 kW/m disminuyendo de Oeste a Este).
- En tercer lugar, la fachada Norte de las Islas Canarias (con 20 kW/m).
- La fachada Sur de las Islas Canarias, junto con el Mediterráneo español y el Golfo de Cádiz presentan valores medios anuales menores a 10 kW/m.

b) Los resultados obtenidos en profundidades indefinidas van disminuyendo progresivamente a medida que el calado disminuye aunque en algunas áreas se producen concentraciones locales motivadas por la configuración de la costa y de la batimetría.

c) Existe una fuerte estacionalidad en la potencia media, pudiendo presentarse en invierno potencias medias de 75 kW/m (Galicia), 50 kW/m (Cantábrico) y 35 kW/m (Norte de Canarias).

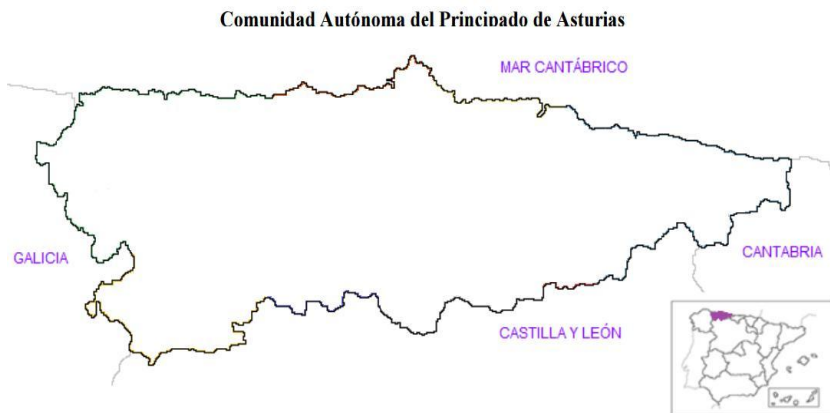


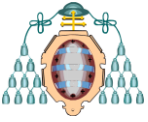
Figura 1. Geolocalización del Principado de Asturias [32]

2. OBJETIVO DEL TRABAJO

La originalidad de este trabajo radica en que los estudios de los que se dispone actualmente [13-16] se centran en dos campos por separado, caracterización del recurso o caracterización de las tecnologías. Este trabajo lo que hace es algo singular al tratar el caso desde un punto de vista global: una vez caracterizado el recurso y definidas las zonas según potenciales de

aprovechamiento, se elegirá la tecnología de aprovechamiento más adecuada al mismo.

El objetivo del presente trabajo es estudiar la perspectiva actual y futura de la energía del mar en Asturias, en el contexto de España, para desarrollar esta energía como alternativa sostenible tanto técnicamente como medioambientalmente. Por todo ello, este estudio se centra en el uso de la energía de las olas



debido al grado de desarrollo tecnológico y abundancia de sus recursos existentes.

3. METODOLOGÍA

La metodología a seguir en el presente trabajo se divide en tres etapas diferenciadas a desarrollar en la zona de estudio:

- Definición de la zona de estudio y su entorno energético.
- Caracterización de las olas como recurso energético.
- Caracterización de las tecnologías.

3.1. Descripción de la zona de estudio. Contexto energético

Asturias es una comunidad autónoma localizada en el Norte de España que limita al norte con el mar Cantábrico. Con una extensión de unos 250 km de costa entre la Ría de Ribadeo (que define el límite occidental con Galicia) y la Ría de Tina Mayor (el límite oriental con Cantabria), la costa asturiana es golpeada por olas

potentes generadas desde el Atlántico y, en menor medida, el Golfo de Vizcaya, (figura 1).

El carbón y sus derivados son las fuentes energéticas con mayor peso en el Principado de Asturias. El consumo de carbón como energía final en el año 2013 se concentró en el sector industrial%.

En cuanto al petróleo y sus derivados los principales sectores demandantes de estos combustibles fueron: el transporte y la industria. Otra de las fuentes de obtención de energía es el consumo de gas natural, pero su demanda ha disminuido en los últimos años como consecuencia del menor consumo de gas natural de las centrales de ciclo combinado, la principal causa de este descenso se debe a la generación de electricidad por medio de energías renovables, la producción hidroeléctrica y la mayor competitividad del carbón. Sin embargo, esta demanda aumentó en el sector industrial y residencial.

En relación al consumo de electricidad como energía final, destacar el aumento registrado dentro del sector transporte, y en particular en el sector ferroviario, así como en el sector primario.

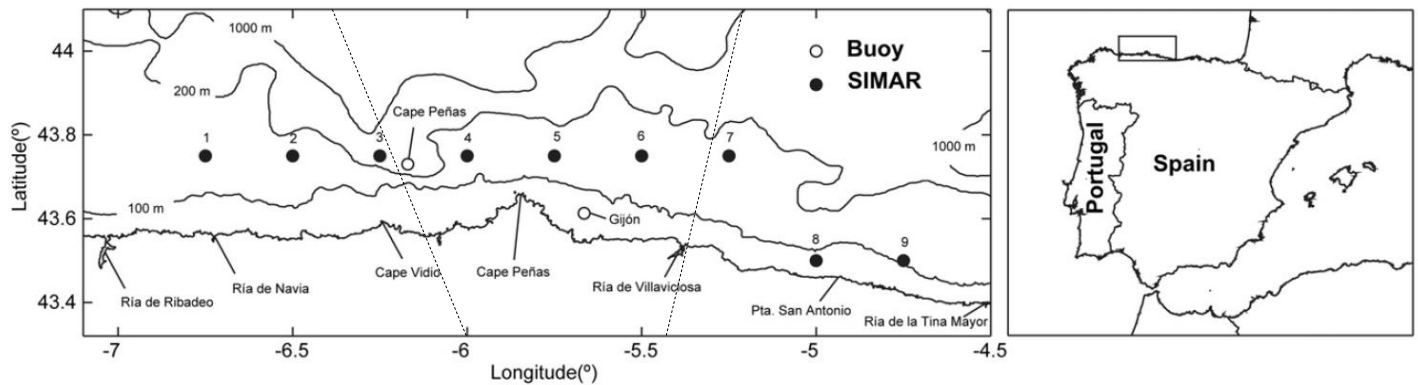


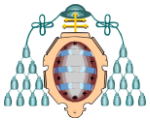
Figura 2. Costa asturiana y batimetría con la localización de los casos de estudio (puntos SIMAR-44 y boyas de ola) [12]

Respecto a las energías renovables, éstas han cubierto casi un 10% del consumo de energía primaria en la región. Las energías renovables viables en la zona son: energía hidráulica, solar, eólica y biomasa [18].

Una vez descrito el modelo energético del Principado de Asturias, vamos a centrar el estudio en la caracterización del recurso del mar para la costa asturiana, de esta forma evaluaremos su potencial y su posible utilización como un recurso energético de futuro para la región.

3.2. Caracterización de las olas como recurso energético

El presente epígrafe aborda el recurso de energía de las olas en Asturias. A fin de evaluar el recurso de energía de las olas tanto en alta mar como en aguas someras en la zona, se va a hacer uso de un estudio para la obtención de los datos necesarios para determinar la viabilidad del potencial energético del mar en Asturias y la elección de la tecnología más adecuada para su aprovechamiento [12]. Este estudio utiliza dos



fuentes principales de datos de onda generada (ola): datos de oleaje de boyas e hindcast obtenidos de modelos numéricos; que se presentan y analizan a continuación, con dos objetivos principales.

La primera es la obtención de una evaluación de los recursos en términos de potencia media de las olas y la energía de las olas anual por metro de cresta de ola; la segunda es la caracterización de los recursos en función de los estados del mar que proporciona la energía, o para ser más precisos, de sus parámetros de onda. Esta caracterización es relevante con vistas a decidir el convertidor de la energía para la zona [19], y tal vez incluso para el diseño de un dispositivo ad hoc, pues a medida que el costo de construcción de una planta de aprovechamiento de energía de las olas aumenta con la distancia a la costa y profundidad del agua, las granjas de onda son generalmente planificadas para poca profundidad o, a lo sumo, aguas intermedias [20-22].

Las propiedades de onda (y por tanto la potencia de onda) se someten a cambios

significativos en forma de ola que se propagan desde aguas profundas hacia la costa, bajo la acción de refracción, la poca profundidad y, en algunos casos, la difracción [23-25]; cambios que afectan a la mayoría de las propiedades de onda, incluyendo dirección de las olas, la altura y energía. Los datos de onda analizados a continuación, que corresponden en su mayoría a los lugares de aguas profundas, se complementan en el siguiente estudio con una investigación de los patrones de altura de ola, de dirección y de potencia de alta mar hacia aguas costeras.

3.2.1. Energía de las olas en alta mar

La caracterización de los recursos en función de los parámetros de la onda generada es un requisito previo para cualquier selección, el diseño, o la optimización del diseño de los convertidores de energía de las olas que se utilizará en la zona.

Table 1

Wave buoys: location, water depth and main wave statistics [H_{m0} , significant wave height; J , wave power; $(E)_{\text{annual}}$, total annual wave energy].

Buoy	Coordinates	Depth (m)	$(H_{m0})_{\text{mean}} \pm \text{std. dev. (m)}$	$(H_{m0})_{\text{max}} \text{ (m)}$	$J_{\text{mean}} \text{ (kW/m)}$	$J_{\text{ams}} \text{ (kW/m)}$	$(E)_{\text{annual}} \text{ (MWh/m)}$
Deepwater buoy (Cape Peñas)	43.74°N, 6.17°W	450	1.97 ± 1.08	12.20	25.49	1097.5	223.31
Coastal buoy (Gijón)	43.61°N, 5.67°W	54	1.61 ± 0.94	9.00	18.89	711.6	165.45

Tabla 1. Boyas de oleaje: localización, profundidad del agua y principales estadísticas de onda [12]

Table 2

SIMAR-44 points: location, water depth and main wave statistics [H_{m0} , significant wave height; J , wave power; $(E)_{\text{annual}}$, annual wave energy].

Point	Coordinates	Depth (m)	$(H_{m0})_{\text{mean}} \pm \text{std. dev. (m)}$	$(H_{m0})_{\text{max}} \text{ (m)}$	$J_{\text{mean}} \text{ (kW/m)}$	$J_{\text{max}} \text{ (kW/m)}$	$(E)_{\text{annual}} \text{ (MWh/m)}$
1	6.75°W, 43.75°N	126	2.01 ± 1.15	12.4	31.05	1235.6	272.09
2	6.5°W, 43.75°N	149	2.00 ± 1.13	12.1	30.37	1170.1	266.10
3	6.25°W, 43.75°N	475	2.00 ± 1.14	12.4	30.37	1228.8	266.14
4	6°W, 43.75°N	136	2.01 ± 1.15	12.7	30.82	1296.1	270.03
5	5.75°W, 43.75°N	137	2.02 ± 1.17	13.1	31.35	1279.1	274.75
6	5.5°W, 43.75°N	161	2.03 ± 1.18	13.4	31.50	1413.7	276.03
7	5.25°W, 43.75°N	175	2.04 ± 1.21	13.9	32.11	1522.0	281.43
8	5°W, 43.5°N	60	1.58 ± 0.93	10.8	18.89	932.2	165.56
9	4.75°W, 43.5°N	104	1.74 ± 1.15	13.1	23.86	1379.1	209.10

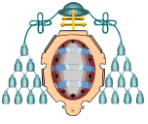
Tabla 2. Puntos SIMAR-44: localización, profundidad del agua y principales estadísticas de onda [12]

Los datos de oleaje de boyas se obtuvieron de Puertos del Estado (Puertos del Estado de España), una en alta mar (conocido como la boya Cabo Peñas) y la otra de bajura (conocida como la boya Gijón) en el periodo 1997-2001 [12].

La segunda fuente de datos de onda son los datos hindcast que utiliza la base de datos recién disponibles SIMAR-44, un conjunto de datos hindcast (datos simulados por ordenador,

modelado numérico) oceanográficos (incluyendo el viento, el nivel del mar y los datos de ola significativos) que abarca 44 años (del 01/01/1958 al 31/12/2001), con una frecuencia de tres datos por hora (figura 2) [26,27].

Este conjunto de datos es el resultado de un amplio esfuerzo de investigación que se inició con el reanálisis atmosférico global mediante la integración de datos instrumentales y satelitales



realizadas por el Centro Nacional de Predicción Ambiental (NCEP).

Los parámetros de energía de las olas fundamentales de los sitios de estudio - la altura media de ola significativa y su desviación estándar, la máxima altura de ola significativa, la media y la potencia máxima de la onda y la energía de las olas anual en la media del año - se presentan en la Tabla 1 (boyas de onda) y la Tabla 2 (puntos SIMAR).

La potencia media de onda es muy superior a 20 kWm - con la excepción de los dos sitios en profundidades de agua por debajo de 100 m (punto SIMAR 8 y las olas de boya Gijón), y por encima de 30 kWm - en los puntos SIMAR 1-7. En cuanto a la energía anual de onda, supera 200MWhm - (con los mismas dos excepciones), y 250 MWhm - en los puntos SIMAR 1-7. El punto SIMAR 8 y la onda de boya Gijón (y, en menor medida, el punto SIMAR 9) son menos energéticos debido a que presentan una profundidad de agua menor. Los puntos SIMAR 1 a 7, todos en la misma latitud (figura 2), tienen profundidades de agua entre 100 m y 200 m, excepto el punto 3, que se encuentra en aguas más profundas debido a una curva en la isóbara de 200 m; estos puntos son representativos del clima de olas en alta mar. Por cierto, la boya de oleaje del Cabo Peñas, aun en las proximidades del punto SIMAR 3, presenta valores algo más bajos de potencia y energía de las olas (Tabla 2). En general, los valores de potencia y energía de las olas en los sitios de estudio son la evidencia de un recurso muy abundante de energía de las olas en Asturias [28].

La energía de las olas anual y valores promedio de potencia de onda proporcionan una evaluación global de los recursos de energía, pero no revelan las características de la onda subyacentes.

3.2.2. Energía de las olas en aguas costeras

Aunque algunos de los sitios de estudio anteriores, en particular, señalar los puntos SIMAR 8 y 9 y boya Gijón, están cerca de la costa, la sección anterior centra principalmente el recurso de energía de las olas en alta mar. En cambio, este apartado se centra en boyas que siguen patrones de ondas de bajura, que se determinan mediante el modelo SWAN. El modelo SWAN (simulando olas cerca de la costa) es un modelo de onda costera avanzado basado en la

conservación de la ecuación de acción de las olas. Este modelo ha demostrado y validado en Asturias y demuestra que la concentración de energía de ola se puede producir en áreas cercanas a la costa. En concreto ha logrado caracterizar el carácter menos energético de la costa Este de Cabo Peñas [12].

Todos los datos aportados en los apartados del punto 3.2. han sido evaluados a partir de estudios realizados con los modelos creados por G. Iglesias y R. Carballo [12].

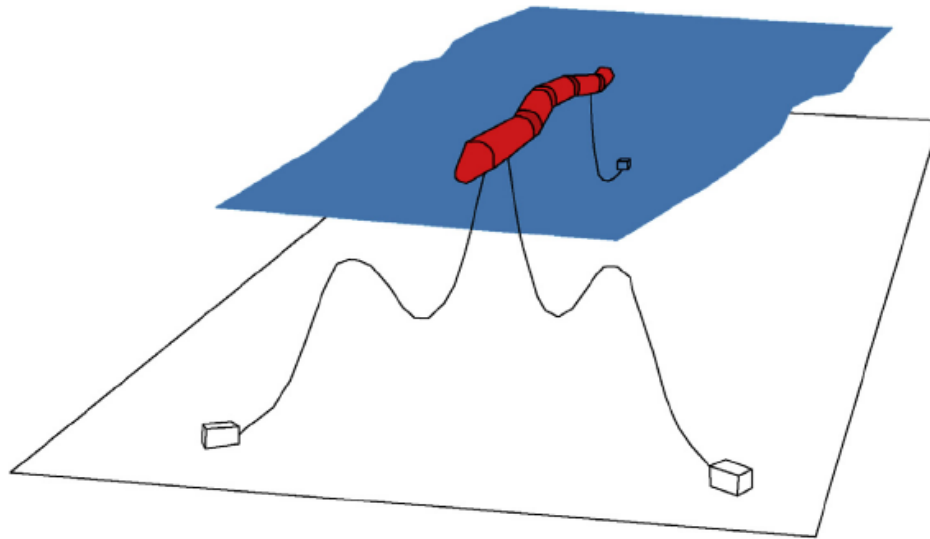
3.3. Caracterización de la tecnología

A través de los años una amplia variedad de WEC's (convertidores de energía de onda) han sido desarrollados, hoy en día hay más de un millar de prototipos. Por lo tanto, cada WEC se puede clasificar en varios grupos dependiendo de sus características.

Para el desarrollo de este estudio se han considerado tres tecnologías diferentes: el Pelamis, el Archimedes Wave Swing (AWS) y el Wave Dragón. A continuación se van a describir cada una de las tecnologías de estudio.

3.3.1. Pelamis

Tanto el Pelamis como el AWS tienen un sistema de conversión del tipo cuerpos de onda activado (WAB), cuyo rendimiento se basa en el movimiento de un cuerpo flotante o sumergido bajo la acción de las olas. El Pelamis se compone de una estructura cilíndrica semi-sumergida orientada a la dirección de propagación de la ola. El dispositivo se articula en varias partes que permiten la flexión en dos direcciones. Cuando las olas pasan el WEC, las secciones se doblan y esta energía mecánica se convierte en energía eléctrica a través de tomas de fuerza hidráulicas alojadas en el interior de las articulaciones. Se han considerado para este trabajo unidades Pelamis tipo que tienen 750 kW de potencia de tasa, longitud 15 m y 3,5 m de diámetro. Su matriz de poder en términos de potencia (kW) para las diferentes condiciones de las olas se muestra en la figura 3 [29]. En una planta de onda Pelamis, los dispositivos tienen un emplazamiento común en orden o filas que se enfrentan a la dirección de las olas predominantes, teniendo cada unidad su propio sistema de amarre evitando así la superposición con los sistemas vecinos.



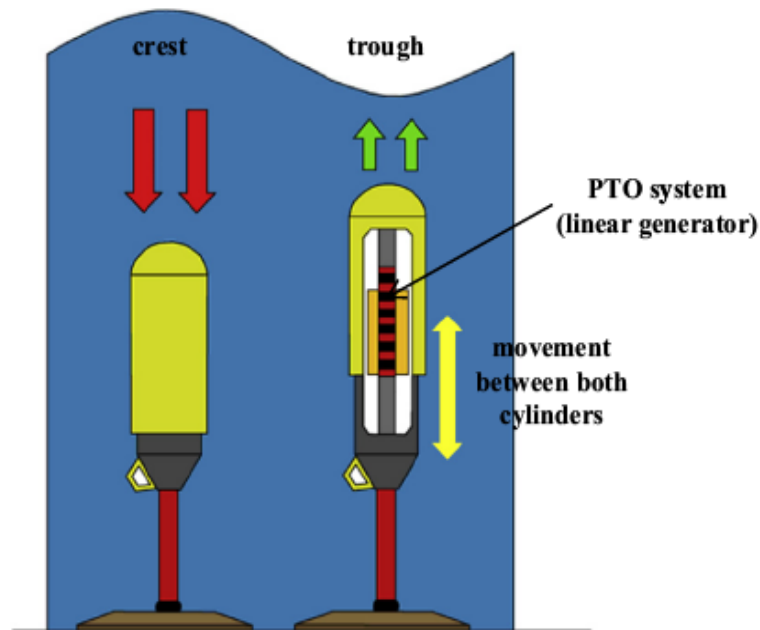
		T_e [s]																
		5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0	9.5	10.0	10.5	11.0	11.5	12.0	12.5	13.0
H_{m0} [m]	1.0	0	22	29	34	37	38	38	37	35	32	29	26	23	21	0	0	0
	1.5	32	50	65	76	83	86	86	83	78	72	65	59	53	47	42	37	33
	2.0	57	88	115	136	148	153	152	147	138	127	116	104	93	83	74	66	59
	2.5	89	138	180	212	231	238	238	230	216	199	181	163	146	130	116	103	92
	3.0	129	270	260	305	332	340	332	315	292	266	240	219	210	188	167	149	132
	3.5	-	-	354	415	438	440	424	404	377	362	326	292	260	230	215	202	180
	4.0	-	-	462	502	540	546	530	499	475	429	384	366	368	301	267	237	213
	4.5	-	-	544	635	642	648	628	590	562	528	473	432	382	356	338	300	266
	5.0	-	-	-	739	726	731	707	687	670	607	557	521	472	417	369	348	328
	5.5	-	-	-	750	750	750	750	750	737	667	658	586	530	496	446	395	355
	6.0	-	-	-	-	750	750	750	750	750	750	711	633	619	558	512	470	415
	6.5	-	-	-	-	750	750	750	750	750	750	750	743	658	621	579	512	481
	7.0	-	-	-	-	-	750	750	750	750	750	750	750	750	676	613	584	525
	7.5	-	-	-	-	-	-	750	750	750	750	750	750	750	750	686	622	593
	8.0	-	-	-	-	-	-	-	750	750	750	750	750	750	750	750	690	625

Figura 3. Esquema y matriz de potencia de un dispositivo Pelamis (valores en (kW)) [30]

3.3.2. Archimedes Wave Swing (AWS)

En el caso de AWS, se compone de una estructura totalmente sumergida compuesta por dos cilindros concéntricos e interconectados. El interior está fijado al fondo del mar y el exterior se comporta como un flotador. Cuando las ondas pasan sobre el convertidor, el cilindro exterior se mueve hacia arriba y hacia abajo, siendo el movimiento relativo entre ambos cilindros utilizados para generar energía eléctrica a través

de un generador lineal. En una granja de AWS las unidades se separan una distancia dada para evitar interferencias entre ellos, esta distancia se considera a menudo como cuatro veces la profundidad del agua. La unidad de AWS considerada en este trabajo alcanza 2,4 MW de potencia nominal y tiene un flotador con un diámetro de 9,5 m y una longitud de 35 m, la matriz de poder en términos de potencia de salida se muestra en la figura 4 [29].



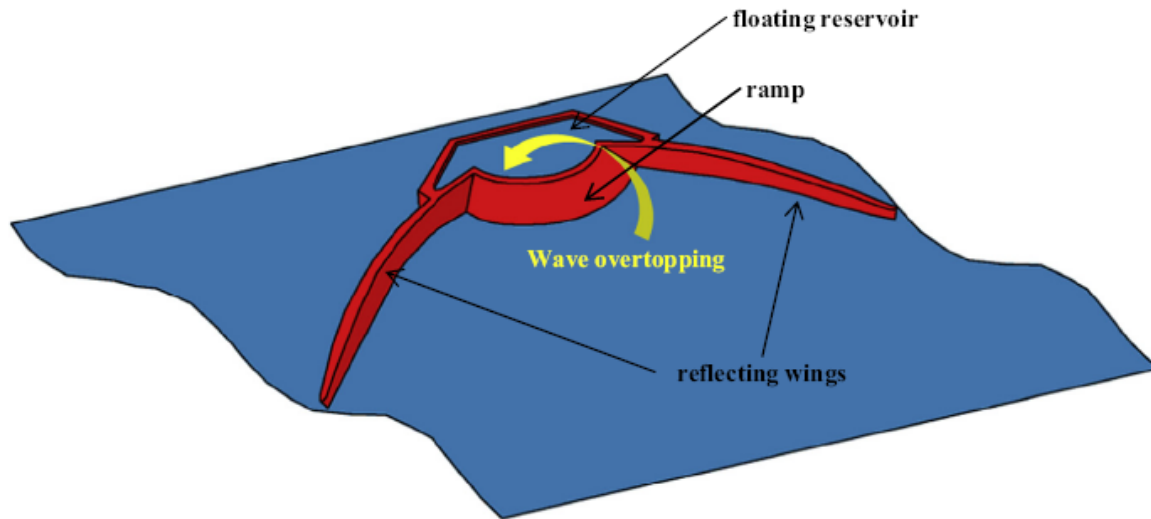
		T_e [s]																			
		5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0	9.5	10.0	10.5	11.0	11.5	12.0	12.5	13.0	13.5	14.0	14.5
H_{m0} [m]	1.0	2	7	13	19	26	34	41	48	58	68	81	93	105	118	131	144	153	163	183	203
	1.5	4	15	28	41	56	72	85	99	121	143	173	203	226	248	266	285	309	334	357	380
	2.0	8	26	49	73	100	127	150	172	210	247	292	337	366	395	418	442	482	523	543	563
	2.5	15	43	78	113	159	205	234	263	320	376	438	499	531	563	603	643	675	708	741	774
	3.0	25	61	111	161	227	293	339	386	453	521	600	680	722	765	827	888	897	906	945	984
	3.5	35	92	155	218	305	391	454	517	605	694	772	851	913	975	1036	1096	1119	1141	1163	1185
	4.0	35	114	194	273	380	486	572	659	776	894	961	1027	1103	1179	1227	1275	1316	1357	1365	1374
	4.5	-	-	235	332	479	626	722	819	957	1096	1168	1240	1320	1401	1449	1497	1547	1598	1590	1583
	5.0	-	-	280	400	592	784	899	1014	1144	1274	1380	1487	1569	1651	1691	1731	1785	1838	1807	1777
	5.5	-	-	320	432	641	849	1033	1216	1331	1446	1568	1690	1778	1867	1919	1970	1977	1984	1994	2005
	6.0	-	-	-	-	680	944	1155	1367	1495	1623	1759	1895	1963	2072	2137	2202	2205	2207	2226	2246
	6.5	-	-	-	-	720	1123	1335	1547	1678	1809	1963	2116	2200	2284	2332	2380	2425	2470	2452	2434

Figura 4. Esquema y matriz de potencia de un dispositivo AWS (valores en (kW)) [30]

3.3.3. Wave Dragón

El Wave Dragón es un WEC basado en el principio de rebosamiento. Las olas elevan el agua por encima del nivel medio del mar para obtener una diferencia de energía potencial en el interior de un depósito flotante que se puede convertir en energía eléctrica por dejar salir el agua a través de una turbina de baja cabeza. Para maximizar el

desbordamiento el Wave Dragón tiene una rampa frontal y dos alas simétricas reflectantes (figura 5) [29]. El último diseño de Wave Dragon, que se ha considerado en este estudio, tiene una potencia nominal de 6 MW. La distribución de la planta óptima para este dispositivo está en una sola línea orientada perpendicular a la dirección de la ola predominante y con una separación entre los dispositivos consecutivos iguales a su anchura.



		T_e [s]																				
		4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0	9.5	10.0	10.5	11.0	11.5	12.0	12.5	13.0	13.5	14.0
H_{m0} [m]	1.0	203	276	348	432	516	608	699	798	896	925	953	958	962	941	919	870	820	742	663	555	446
	1.5	412	448	485	617	750	899	1049	1212	1375	1433	1491	1509	1527	1502	1477	1404	1332	1209	1086	912	737
	2.0	621	621	621	802	983	1191	1398	1626	1853	1941	2029	2061	2092	2063	2034	1939	1844	1677	1509	1269	1028
	2.5	1123	1123	1123	1213	1304	1609	1914	2258	2602	2752	2903	2972	3041	3017	2993	2868	2743	2504	2266	1910	1555
	3.0	1624	1624	1624	1624	1624	2027	2430	2890	3350	3563	3776	3883	3989	3970	3951	3796	3641	3332	3022	2552	2082
	3.5	2581	2581	2581	2581	2581	2783	2984	3588	4191	4494	4796	4870	4945	4935	4926	4845	4765	4374	3983	3372	2761
	4.0	3538	3538	3538	3538	3538	3538	3538	4285	5032	5424	5816	5858	5900	5900	5900	5895	5889	5416	4943	4191	3439
	4.5	4719	4719	4719	4719	4719	4719	4719	5093	5466	5662	5858	5879	5900	5900	5900	5897	5895	5658	5422	4822	4222
	5.0	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900
	5.5	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900
	6.0	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900
	6.5	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900
	7.0	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900
	7.5	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900
	8.0	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900	5900

Figura 5. Esquema y matriz de potencia de un dispositivo Wave Dragon (valores en (kW)) [30]

Table 3

Area points: location and main wave statistics [H_{m0} , significant wave height; J , wave power; $(E)_{\text{annual}}$, total annual wave energy].

Point	Location	$(H_{m0})_{\text{mean}} \pm \text{std. dev. (m)}$	$(H_{m0})_{\text{max (m)}}$	$J_{\text{mean (kW/m)}}$	$(E)_{\text{annual (MWh/m)}}$
1	Occidente	2.00 ± 1.14	12.30	30.60	268.11
2	Centro	1.93 ± 1.11	12.08	27.61	241.92
3	Oriente	1.79 ± 1.10	12.60	24.95	218.70

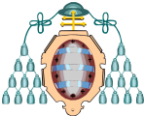
Tabla 3. Especificaciones técnicas de energía del oleaje de las 3 zonas de estudio representativas de la costa asturiana [12]

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Una vez caracterizado el recurso y la tecnología vamos a pasar a describir los resultados obtenidos y realizar una discusión de la mejor

opción a llevar a cabo para el aprovechamiento energético de la energía de las olas en Asturias.

Para ello se va a dividir la zona de estudio en 3 regiones diferenciadas. En la tabla 3 se describe el potencial energético de la costa asturiana en las 3 regiones escogidas, las cuales coinciden con la



división realizada en la figura 2: zona occidental, zona centro y zona oriental. Para obtener dichos resultados se han realizado la media de los puntos SIMAR-44 y los datos de boya correspondientes a cada zona (occidente (SIMAR (1,2,3)), centro (boya Cabo Peñas, boya Gijón, SIMAR (4,5,6)) y oriente (SIMAR (7,8,9)).

Una vez caracterizada cada área se va a estudiar en cada punto las 3 tecnologías escogidas en el apartado 3.3. Para ello, teniendo en cuenta la altura media de ola, se va a entrar en la matriz de potencia de cada dispositivo y comprobar que periodo de ola sería necesario para obtener una buena eficiencia en la conversión para un aprovechamiento óptimo de dicha energía.

4.1. Zona Occidental

En la zona occidental se tiene una altura de ola media de 2 m aproximadamente, a continuación con este dato se va a analizar la viabilidad de cada tecnología en la zona.

En cuanto al Pelamis, si escogemos en la tabla de potencias del dispositivo una altura de ola 2 m se observa que la eficiencia del dispositivo para cualquier periodo de onda es muy baja, en torno a un 20% máximo de eficiencia para un periodo de onda comprendido entre 6.5 y 9.0 s.

Para el AWS aumentaríamos un poco la eficiencia máxima entorno a un 23.5% para un período de onda de 14.5 s. Para el resto de períodos la eficiencia sería mínima.

Por último, el Wave Dragon presenta una eficiencia máxima de 34.9% para un período de onda de 10.0 s. Disminuyendo significativamente la eficiencia en el resto de períodos.

A la vista de los datos y teniendo en cuenta que estamos considerando una altura de ola media anual (las alturas de ola a lo largo del año varían hasta una altura máxima de 12,3 m en la zona) se puede concluir que el mejor dispositivo para el aprovechamiento energético de las olas en la zona occidental de Asturias sería una granja de dispositivos Wave Dragon.

4.2. Zona Centro

En la zona central se dispone de una altura de ola un poco más baja que en la occidental debido a la influencia del Cabo Peñas.

Para el dispositivo Pelamis con esa altura de ola de 1.93 m se observa que la eficiencia para cualquier periodo de onda es sumamente baja, en torno a un 15%.

Para el AWS aumentaríamos un poco la eficiencia máxima entorno a un 20%.

Y por último, el Wave Dragon presenta una eficiencia máxima de 30% para un período de onda de 10.0 s.

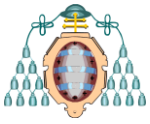
A la vista de los resultados se observa que en la zona central disminuye un poco la eficiencia de aprovechamiento debido a la influencia del Cabo Peñas y la mayor cercanía con la costa, así como la influencia de las tormentas debido a la orografía de la zona. Por todo ello se considera más adecuado para la zona centro el dispositivo AWS ya que está totalmente bajo la superficie del agua y no necesita hacer frente a los extremos causados por las tormentas superficiales [31].

4.3. Zona Oriental

La zona oriental de la costa asturiana presenta una altura de ola media menor al resto de la costa, esto supone que la eficiencia de aprovechamiento de la energía de las olas para esta área es menor y por tanto se debe estudiar la mejor tecnología en función de sus características generales. El Pelamis ofrecería en torno a un 10% de eficiencia, el AWS una eficiencia de 8.3% aproximadamente y el Wave Dragon de 25%, todo ello considerando el período de onda óptimo para cada tecnología. Por ello, se deduce que la mejor opción para esta zona sería el Wave Dragon.

5. PERSPECTIVAS DE FUTURO

La variedad de diferentes dispositivos de captación es enorme, lo que hacen difícil centrar los esfuerzos de desarrollo tecnológico. La falta de madurez tecnológica e industrial del sector impide el conocimiento detallado de los materiales y procesos destinados a la óptima fabricación, siendo esta incertidumbre un factor común para todos los proyectos incluso aquellos desarrollos más avanzados. Es preciso realizar mayores esfuerzos para realizar diseños específicos optimizados para soportar las duras condiciones a los que los somete el medio marino, mejorando la durabilidad de los equipos que componen las plantas de aprovechamiento undimotriz.



El futuro tecnológico se basa en mejorar varios aspectos: por un lado, la eficiencia al aprovechar el movimiento no lineal y esquivo de las olas o su resistencia al embate de las mismas, y todo ello a un coste asumible y, por otro lado, la eliminación de los sistemas oleo hidráulicos en dispositivos tipo boya. El desarrollo comercial de la energía de las olas no se espera hasta un horizonte a largo plazo, con una esperada competitividad de mercado para el año 2030, principalmente debido a los altos costes de inversión que es preciso optimizar.

El desarrollo de los primeros proyectos de aprovechamientos de energías del mar requiere de una infraestructura adecuada de evacuación eléctrica, que en algunos países de la Unión Europea se están empezando a proyectar. En este sentido se están dando los primeros pasos.

En Portugal existe un centro de pruebas para el Sur de Europa con una potencia total de 250 MW para el desarrollo tecnológico de nuevos prototipos en fase pre-comercial e industrial. La zona piloto permitirá la instalación de todo tipo de dispositivos de energías marinas incluida la eólica offshore.

Muchas de las actividades de promoción de la energía de las mareas y las olas en el Reino Unido se han centrado en el desarrollo de dos centros de pruebas: el EMEC (European Marine Energy Centre) en Orkney y el proyecto WAVE HUB en Cornwall.

El EMEC lleva en operación varios años y como primer centro de pruebas en cualquier parte del mundo ofrece la oportunidad a los tecnólogos de probar sus prototipos a escala real conectados a la red en unas excelentes condiciones de olas y mareas.

Al igual que en otros países de Europa, en España existen varios proyectos para desarrollar centros tecnológicos de pruebas y homologaciones de los prototipos y equipos en distintas fases de desarrollo en el País Vasco (BIMEP -Biscay Marine Energy Platform), Canarias (PLOCAN) y Cantabria (Proyecto Santoña). Diversos prototipos han comenzado ya a probarse sobre aprovechamiento de la energía de las olas en Asturias. El objetivo es que en unos años la fuerza del oleaje se pueda convertir en una fuente de energía renovable más. En concreto cabe destacar el proyecto en desarrollo con tecnología autóctona HIDROFLOT. Su aplicación práctica se ha desarrollado mediante el proyecto Calma. Éste es un Proyecto singular

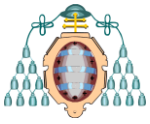
innovador para el desarrollo de un parque de generación eléctrica de 50 MW a través de la energía undimotriz, compuesto por un conjunto de plataformas, que genera energía eléctrica al crear una diferencia de potencial entre el cuerpo sumergido inmóvil y el cuerpo deslizante del flotador, accionado por las olas. Además, se está desarrollando una infraestructura liderada por la Universidad de Oviedo en Asturias, que pretende la creación de una Instalación Científica Técnica Singular emplazada en la costa asturiana para la experimentación, demostración y explotación de sistemas de captación de energías de origen marino, almacenamiento y transporte de energía eléctrica, investigación medioambiental, acuicultura marina, estudios de biodiversidad y análisis del cambio climático [1].

6. CONCLUSIONES

Los precios de los combustibles fósiles, la dependencia energética exterior de España, y la lucha contra el cambio climático han servido para aumentar la relevancia de las energías renovables en nuestro país, lo que hace imperativo el desarrollo de dichas tecnologías para nuestro crecimiento tanto tecnológico, como económico y medioambiental.

Sin embargo estas tecnologías, en especial las dedicadas al aprovechamiento de las energías del mar, son tecnologías aún en fase emergente. Todavía queda mucho camino por andar para su completo desarrollo. Aún así, son muchos los proyectos que se encuentran hoy en día en marcha como el comentado proyecto Calma de la empresa HIDROFLOT, desarrollado en Asturias, el cual hace viable el aprovechamiento de esta tecnología como futuro aprovisionamiento energético de la región de forma sostenible e inagotable.

En consonancia con este estudio concluir que en base a los resultados obtenidos es posible la creación de granjas de dispositivos WEC en la costa asturiana para el aprovechamiento energético de ese potencial que nos está ofreciendo el mar Cantábrico y que aún está sin explorar. Esto supondría un gran crecimiento para la región tanto económicamente como en materia de investigación de I+D+i para el desarrollo de las empresas y la creación de nuevos puestos de trabajo, quitando peso al obsoleto y en decadencia



sector metal mecánico del que actualmente depende nuestra Comunidad Autónoma.

Por último cabe destacar que debido a que esta es un área de ingeniería nueva y emergente existen una serie de barreras que impiden su desarrollo como son: barreras tecnológicas como la necesidad de una red de evacuación de dicha energía a tierra; barreras de mercado como elevados costes de inversión y generación (instalación y mantenimiento) e insuficientes ayudas públicas a la I+D; y barreras administrativas, medioambientales y sociales como largos trámites burocráticos y falta de personal cualificado.

NOMENCLATURA

H_{m0} : altura de ola significativa (m)

J: potencia de la ola (kW/m)

$(E)_{\text{anual}}$: energía media anual de la ola (MWh/m)

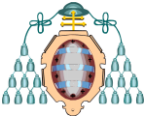
T_e : período de onda (s)

REFERENCIAS

- [1] Plan de Energías Renovables (PER) 2011-2020
- [2] Ley 2/2011, de 4 de marzo, de Economía Sostenible
- [3] Consejo Europeo, 8 y 9 de marzo de 2007
- [4] España en cifras 2014, página 39 www.ine.es
- [5] Pelc R, Fujita RM. Renewable Energy from the Ocean. *Marine Policy*, 26, 2002, pp. 471-9
- [6] M. Grabbe, E. Lalander, S. Lundin, M. Leijon. A review of the tidal current energy resource in Norway. *Renewable Sustainable Energy Reviews*, 13 (8), 2009, pp. 1898-1909
- [7] R. Fujita, A. C. Markham, J. E. Diaz, J. R. Martinez, C. Scarborough, P. Greenfield, P. Black, S. E. Aguilera. Revisiting ocean thermal energy conversion. *Marine Policy*, 36 (2), march 2012, pp. 463-465.
- [8] P. Breeze. *Power generation technologies* (2nd edition). Oxford: Elsevier, 2014, pp. 287-311
- [9] A. Naghiloo, M. Abbaspour, B. Mohammadi-ivatloo, K. Bakhtari. Modeling and design of a 25 MW osmotic power plant (PRO) on Bahmanshir

River of Iran. *Renewable Energy*, 78, june 2015, pp. 51-59.

- [10] Ross D. *Power from the waves*. Oxford: Oxford University Press, 1995.
- [11] Falcao A. Wave energy utilization: A review of the technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14 (3), 2010, pp. 899-918.
- [12] G. Iglesias, R. Carballo. Offshore and inshore wave energy assessment: Asturias (N Spain). *Energy*, 35 (5), 2010, pp. 1964-1972
- [13] G. Iglesias, R. Carballo. Wave energy resource in the Estaca de Bares area (Spain). *Renewable Energy*, 35 (7), 2010, pp. 1574-1584.
- [14] G. Iglesias, R. Carballo. Wave resource in El Hierro - an island towards energy self-sufficiency. *Renewable Energy*, 36 (2), 2011, pp. 689-698.
- [15] G. Iglesias, R. Carballo. Wave farm impact based on realistic wave-WEC interaction. *Energy*, 51, 2013, pp. 216-229.
- [16] Iraide L., Jon A., Salvador C., Iñigo M., Iñigo K. Review of wave energy technologies and the necessary power-equipment. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 27, 2013, pp. 413-434.
- [17] Evaluación del potencial de la energía de las olas. Estudio técnico PER 2011-2020.
- [18] *Energía en Asturias 2013*. Fundación Asturiana de la Energía (FAEN).
- [19] Cruz JMBP, Sarmiento AJNA. Sea state characterization of the rest site of an offshore wave energy plant. *Ocean Engineering*, 35 (5-6), 2007, pp. 763-775.
- [20] Cruz J. *Ocean wave energy*. Heidelberg: Springer, 2008.
- [21] McCormick ME. *Ocean wave energy conversion*. Mineola, New York: Dover Publications, inc., 2007.
- [22] Sørensen B. *Wave energy converters*. Renewable Energy Conversion, Transmission and Storage. Burlington: Academic Press, 2007, pp. 83-92.
- [23] Holthuijsen LH. *Waves in oceanic and coastal waters*. Cambridge: University Press, 2007.



- [24] Dingemans MW. Water wave propagation over uneven bottoms. World Scientific, 2000.
- [25] Dean RG, Dalrymple RA. Water wave mechanics for Engineers and Scientists. World Scientific, 1991.
- [26] Guedes Soares C. Hindcast of dynamic processes of the ocean and coastal areas of Europe. Coastal Engineering, 55 (11), 2008, pp. 861-871.
- [27] Pilar P., Soares C.G., Carretero J.C. 44-years wave hindcast for the north east Atlantic European coast. Coastal Engineering 55 (11), 2008, pp. 861-871
- [28] Iglesias G., López M., Carballo R., Castro A., Fraguera JA, Frigaard P. Wave energy potential in Galicia (NW Spain). Renewable Energy, 34 (11), 2009, pp. 2323-2333.
- [29] M. Veigas, M. López, P. Romillo, R. Carballo, A. Castro, G. Iglesias. A proposed wave farm on the Galician coast. Energy Conversion and Management, 99, 2015, pp. 102-111.
- [30] Carballo R., Sánchez M., Ramos V., Taveira-Pinto F., Iglesias G. A high resolution geospatial database for wave energy exploitation. Energy, 68, 2014, pp. 572-583.
- [31] Roberto L.P. Las energías renovables, España y el reto 2020. Asociación de productores de energías renovables. Septiembre 2010.
- [32] www.sitpa.cartografia.asturias.es