

# CTN



## **BLUE GROWTH** **ENERGÍAS MARINAS**

INFORME DE VIGILANCIA TECNOLÓGICA

2017

Este informe ha sido elaborado por la Asociación Empresarial de Investigación Centro Tecnológico Naval y del Mar gracias al Convenio suscrito con el Instituto de Fomento de la Región de Murcia con el apoyo del fondo FEDER.

Autores: Carlos Moyano Martín y M<sup>a</sup> Ángeles García Albaladejo

Más info: [www.ctnaval.com](http://www.ctnaval.com)



© CTN, 2017

Todos los derechos están reservados. Se autoriza la reproducción total o parcial de este informe con fines educativos, divulgativos y no comerciales citando la fuente. La reproducción para otros fines está expresamente prohibida sin el permiso de los propietarios del copyright



## Índice

1. Introducción.....	5
2. Metodología .....	6
3. Estrategia europea de Crecimiento Azul.....	9
3.1 Componentes de la Estrategia.....	9
3.2 Área temática de Energías Marinas .....	10
4. Estado de desarrollo de la tecnología .....	12
4.1 Energía eólica flotante marina.....	12
4.1.1. Principales proyectos en el Mediterráneo .....	13
4.2 Energía mareomotriz.....	14
4.2.1. Principales proyectos en España. ....	15
4.3 Energía undimotriz.....	16
4.3.1. Desarrollo de la tecnología en España .....	17
4.4 Conversión de energía térmica oceánica.....	20
4.5 Gradiente de salinidad .....	21
4.6 Integración de diferentes tecnologías en plataformas multifuncionales (MUP) .....	24
5. Potencial de crecimiento de las energías marinas en España.....	27
5.1 Energía eólica flotante .....	27
5.2 Energía mareomotriz.....	33
5.3 Energía undimotriz.....	33
6. Legislación y normativa .....	35
6.1 Políticas que promueven la producción de energía azul en el mar Mediterráneo y estado regulador de las instalaciones de energías marinas en España .....	35
6.1.1. Políticas Europeas.....	35
6.1.2. Políticas nacionales.....	35
7. Bibliografía .....	37



## Índice de tablas

Tabla 1. Tipo de área con respecto al tipo de zonificación EEAL .....	28
Tabla 2. Desglose de la superficie disponible para el desarrollo potencial de OWF basado en rangos de velocidad del viento .....	28
Tabla 3. Área disponible en la costa española, con respecto a la zonificación de EEAL .....	31

## Índice de imágenes

Imagen 1. Finalidad de la Vigilancia Tecnológica .....	6
Imagen 2. Fases de la Vigilancia Tecnológica .....	8
Imagen 3. Planta de energía en Gibraltar .....	18
Imagen 4. Sistema de electrodiálisis inversa (RED) .....	22
Imagen 5. Proceso de ósmosis por presión retardada .....	23
Imagen 6. Unidad de desalinización Ydriada .....	26
Imagen 7. Estudio ambiental estratégico de las zonas costeras españolas. Costa mediterránea .....	27
Imagen 8. Zonas EEAL filtradas con batimetría. Costa mediterránea .....	29
Imagen 9. Zonas EEAL filtradas con batimetría y recursos eólicos marinos. Costa mediterránea .....	30



## 1. Introducción

Este informe, elaborado por el equipo del Centro Tecnológico Naval y del Mar, describe la situación actual e introduce las tendencias futuras de la estrategia del Crecimiento Azul en el ámbito de las Energías Marinas, en concreto en el arco mediterráneo español. Su finalidad es ofrecer al tejido empresarial una mejora en el conocimiento del entorno, que permita detectar tendencias y desarrollar estrategias adecuadas basadas en niveles superiores de certidumbre a través de la captación y divulgación de información y conocimiento de importancia estratégica en los ámbitos social, tecnológico y económico, que incidan en la detección de nuevas oportunidades de desarrollo regional.

Para la realización de este informe se han aplicado técnicas de Vigilancia Tecnológica, una herramienta al servicio de las empresas y organizaciones que permite detectar oportunidades y amenazas aportándoles ventajas competitivas y fundamentos para la toma de decisiones estratégicas mediante la selección y análisis de información de diversos tipos (científica, tecnológica, comercial, de mercado, social...).

Para ello se parte de una introducción metodológica sobre las técnicas y fases de la Vigilancia Tecnológica que se han aplicado para el desarrollo del informe. A continuación se introduce el Crecimiento Azul como estrategia europea y el papel de las energías marinas en el marco de dicha estrategia, con el fin de dibujar un cuadro de referencia para la contextualización de los contenidos temáticos del informe. Seguidamente se realiza un análisis del estado de la técnica según los diferentes tipos de energías marinas. Este análisis se completa con una visión del potencial de crecimiento en España y legislación y normativa que afectan al sector.

Por último se incluyen las fuentes que se han manejado para la realización de este informe.



## 2. Metodología

La vigilancia tecnológica se entiende como una “forma organizada, selectiva y permanente de captar información del exterior sobre tecnología, analizarla y convertirla en conocimiento para tomar decisiones con menor riesgo y poder anticiparse a los cambios”. (AENOR, 2011) Su finalidad última es generar ventajas competitivas para la empresa ya que le proporciona datos para:



Imagen 1. Finalidad de la Vigilancia Tecnológica

Para el desarrollo de la Vigilancia Tecnológica el primer paso es plantear los aspectos básicos (Degoul, 1992):

¿Cuál es el objeto de la vigilancia? ¿Qué debemos vigilar? ¿Qué información buscar? ¿Dónde localizarla?

Cuando el objetivo de la VT está claramente delimitado, se procede a planificar la estrategia de búsqueda. Para el despliegue de esta fase conviene tener en cuenta que la información puede presentarse de dos formas: estructurada y no estructurada. La primera es propia de las bases de datos, conjuntos de datos homogéneos, ordenados de una forma determinada, que se presenta en forma legible por ordenador (Escorsa, 2001). Su unidad es el registro –o ficha de un artículo científico o una patente- que presenta la información ordenada en campos: autor, título, fecha de publicación, titular de la patente, inventores, etc. En cambio, la información no estructurada se presenta en textos sin un formato determinado (noticias de periódicos, sitios web, blogs, correos electrónicos) cuyo tratamiento requerirá de nuevas herramientas capaces de “leer” y analizar estos textos. Estas herramientas son útiles también para analizar la información de textos completos de artículos



científicos o de patentes. Hoy se considera que el texto es la mayor fuente de información y conocimiento para las empresas. (Escorsa, Pere, Pilar Lázaro Martínez, Círculo de Innovación en Biotecnología, 2007).

Tras la selección de las palabras clave se automatiza la búsqueda en función de las diferentes tipologías de fuentes a utilizar, se lanza la misma y se filtran los resultados en términos de pertinencia, fiabilidad, relevancia, calidad y capacidad de contraste (AENOR, 2011).

Una vez comprobada la calidad de la información, los métodos de análisis han de garantizar su valor para la explotación de los mismos (F. Palop, 1995). El objetivo del análisis es transformar la información en bruto recogida en un producto con alto valor añadido. A partir de aquí, la aportación de los expertos es crítica para crear información avanzada, para generar conocimiento. Pasamos de una masa ingente de información en distintos formatos y lugares a una etapa en la que se captura la información más relevante, se organiza, indexa, almacena, filtra y, finalmente, con la opinión del experto que aporta en este punto del proceso un máximo valor añadido (CETISME, 2003).

A continuación, se incluye un esquema con las distintas fases de la metodología empleada durante la generación de este informe.





Imagen 2. Fases de la Vigilancia Tecnológica



### 3. Estrategia europea de Crecimiento Azul

Blue Growth es la estrategia de la Unión Europea para apoyar la economía azul a largo plazo. Se trata de una iniciativa enfocada a aprovechar el potencial inexplorado que ofrecen los océanos, mares y costas de Europa para el crecimiento económico y la creación de empleo. Partiendo de la premisa de que los mares y los océanos son motores de la economía europea y un polo de innovación y crecimiento, tiene en cuenta tres factores adicionales (Comisión Europea, 2012):

- Los avances tecnológicos aplicados a operaciones en aguas profundas, inviables hasta hace pocos años.
- La explotación sostenible de los recursos del océano como alternativa a los recursos finitos en tierra y agua dulce.
- La idoneidad del transporte marítimo frente al terrestre en relación al ahorro energético y la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.

Este conjunto de consideraciones hace que la contribución de la estrategia Blue Growth a la consecución de los objetivos de la Estrategia Europa 2020 se considere clave para un crecimiento inteligente, sostenible e integrador.

#### 3.1 Componentes de la Estrategia

Medidas específicas de la Política Marítima Integrada:

- a. Conocimiento marino para mejorar el acceso a la información sobre el mar.
- b. Ordenación del espacio marítimo para garantizar una gestión eficaz y sostenible de las actividades en el mar.
- c. Vigilancia marítima integrada para que las autoridades tengan una mejor apreciación de lo que pasa en el mar.

Estrategias de cuenca marítima que garanticen la combinación de medidas más adecuadas con el fin de fomentar el crecimiento sostenible para tener en cuenta factores climáticos, oceanográficos, económicos, culturales y sociales de carácter local:

- a. Mar Adriático y Mar Jónico
- b. Océano Ártico
- c. Océano Atlántico
- d. Mar Báltico



- e. Mar Negro
- f. Mar Mediterráneo
- g. Mar del Norte

Actividades específicas:

- a. Acuicultura
- b. Turismo costero
- c. Biotecnología marina
- d. Energías marinas
- e. Explotación minera de los fondos marinos

(Comisión Europea, Crecimiento Azul, s.f.)

### **3.2 Área temática de Energías Marinas**

“Nuestros mares y océanos tienen el potencial de convertirse en importantes fuentes de energía limpia. La energía renovable marina, que comprende tanto la energía eólica marina como la energía oceánica, ofrece a la UE la oportunidad de generar crecimiento económico y empleo, mejorar la seguridad de su suministro energético e impulsar la competitividad mediante la innovación tecnológica. [...] Se considera que el potencial del sector de la energía oceánica puede contribuir a alcanzar los objetivos de la Estrategia Europa 2020, así como los objetivos de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero a largo plazo de la UE. También se contempla el futuro de esta prometedora nueva tecnología y se define un plan de acción para ayudar a liberar su potencial. [...] Los trabajos de investigación y consulta llevados a cabo en el marco de la evaluación de impacto que acompaña a esta Comunicación ponen de manifiesto que un apoyo adicional a este sector emergente podría permitir a la UE obtener importantes beneficios económicos y medioambientales.”

(Comisión de las comunidades europeas, 2014)

La intervención política de la comisión europea se plantea abordar las distintas barreras alentando la colaboración entre los desarrolladores de tecnología, los responsables de la formulación de políticas, los inversores y otras partes interesadas a fin de reducir la brecha entre la investigación y el mercado.

Las Energías Marinas tienen un gran potencial de crecimiento debido al aumento de la eficiencia de explotación de los recursos marinos, minimización del uso de suelo para fines energéticos y reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero a nivel europeo. La energía marina es abundante, renovable y puede jugar un papel importante en el mix energético, ya que es muy predecible, aportando un valor



sustancial al sistema energético. En condiciones idóneas, tanto para el desarrollo tecnológico como para el despliegue de proyectos, se calcula que la contribución potencial de la energía marina será de alrededor del 10% de la demanda energética de la UE para 2050<sup>1</sup>.

A lo largo de este informe se analizarán desde la perspectiva de la vigilancia tecnológica, distintos tipos de Energías Marinas. A continuación se incluye una breve descripción de cada uno de los tipos existentes:

- 💧 **Energía eólica flotante marina:** utiliza turbinas flotantes que aprovechan la fuerza del viento en alta mar, donde el viento es mucho más constante, no tiene obstáculos y circula a velocidad más elevada, lo que permite producir una mayor cantidad energética en menor tiempo.
- 💧 **Energía producida por las corrientes marinas:** utiliza la energía cinética de las corrientes originadas por la diferencia de profundidad entre zonas conexas.
- 💧 **Energía undimotriz:** el movimiento de las olas produce energía cinética que puede ser aprovechada por los dispositivos undimotrices.
- 💧 **Energía mareomotriz:** aprovecha los flujos ascendentes y descendentes resultantes entre las entradas de marea y los estuarios de los ríos.
- 💧 **Energía producida por el gradiente de salinidad:** se genera a través de la diferencia de concentración de sal entre las aguas marinas y fluviales.
- 💧 **Energía producida por el gradiente térmico:** aprovecha la diferencia de temperatura del agua del mar entre la superficie y una profundidad de un kilómetro.

---

<sup>1</sup> Datos extraídos de la Dirección Europea de Asuntos Marítimos y Pesca.



## 4. Estado de desarrollo de la tecnología

### 4.1 Energía eólica flotante marina

Entre las tecnologías disponibles en el sector de las energías renovables, la energía eólica es con mucho la más relevante en Europa, con una larga experiencia especialmente en los países del norte de Europa.

La industria eólica europea también desempeña un papel crucial en el desarrollo de la energía eólica en mercados no europeos, y debido a la actividad tanto nacional como internacional, la industria de la energía eólica se está convirtiendo en un sector estratégico para la economía europea.

Según el último informe de situación (WindEurope, 2016) de WindEurope, la eólica es hoy la tecnología de generación de energía más barata de Europa en términos de coste normalizado de la energía (LCOE), mientras que la eólica marina tiene potencial para competir con las tecnologías convencionales para 2025 según los volúmenes de despliegue tecnológico (WindEurope press release, 2016).

Las tecnologías disponibles de energía eólica marina se pueden dividir en dos grandes grupos según el tipo de cimentación adoptada, ya sea fija o flotante, cada una dividida en subgrupos, según su diseño específico. Más allá del requisito habitual de ser lo suficientemente pesada como para crear suficiente impulso y fuerza para soportar los movimientos de flexión derivados del viento que actúa sobre las turbinas, la elección del tipo más adecuado de cimentación fija offshore depende de la profundidad del agua, el peso de agua de las olas y las condiciones del suelo, así como las frecuencias generadas por la turbina (la interacción con el peso de las olas puede suponer una mayor carga en la cimentación de la turbina).

Los cimientos más comunes utilizados para los proyectos actuales de energía eólica marina son las estructuras de cimentación por monopilote, ancladas al lecho marino por gravedad, seguidas de estructuras de malla espacial, más adecuadas para aguas con profundidades intermedias y y aguas profundas.

En general, en el Mediterráneo no hay proyectos a gran escala relaciondos con esta tecnología y dadas las condiciones meteoceánicas del fondo marino, hay pocas posibilidades de instalación con ella.

La reducción de los costes de la energía eólica marina parece estar entre las prioridades clave de la industria eólica.



### 4.1.1. Principales proyectos en el Mediterráneo

Actualmente, hay prototipos experimentales que utilizan tecnología flotante offshore. En Francia, se seleccionaron 4 áreas experimentales para granjas piloto offshore en 2016, equipadas con 3 - 4 turbinas de unos 5 MW cada una. Para tres de los cuatro proyectos piloto se optó por el Golfo de León, en el Mar Mediterráneo. El plan de implementación se plantea como objetivo implementarlas para 2020. Las granjas industriales offshore, que podrían alcanzar 500 MW cada una, se lanzarían después, dependiendo de los resultados.

Uno de los puntos principales es la adaptación de la red eléctrica a estas energías, teniendo en cuenta que la construcción de dicha red lleva una demora de alrededor de 10 años.

A continuación se incluyen los 3 proyectos piloto que pretenden estar en pleno funcionamiento para 2020:

#### **Proyecto EOLMED.**

Lugar: Gruissan

Liderado por: QUADRAN

Más información: el proyecto utilizará 4 aerogeneradores de 6,15 MW cada uno, con una base flotante desarrollada por IDEOL, compatible con las turbinas existentes y competitivas a partir de 35 metros de profundidad en comparación con las estructuras convencionales conectadas a tierra.

#### **Proyecto EFGL "Les Eoliennes Flottantes du Golfe du Lion"**

Lugar: área de Leucate

Liderado por: Engie

Más información: los 4 aerogeneradores de Leucate-Le Barcarès, de 6MW cada uno, producirán el equivalente al consumo de electricidad de una ciudad de 50.000 habitantes en un año. Las turbinas eólicas flotantes estarán a una distancia de 16 km de la costa y serán poco visibles desde tierra firme. También estarán lejos de las zonas costeras de pesca y actividades recreativas.

#### **Proyecto PGL "Provence Grand Large"**

Lugar: área de Faraman

Liderado por: EDF EN

Más información: ubicada en la región de Provenza-Alpes-Costa Azul, en el departamento de Bouches-du-Rhône, la granja piloto incluye 3 aerogeneradores flotantes con una capacidad nominal de 8 MW cada uno, o 24 MW en total y producirán el equivalente al consumo de electricidad de una ciudad de 40.000 habitantes en un año.



## 4.2 Energía mareomotriz

Las tecnologías de energía mareomotriz se pueden dividir en tecnologías de marea y tecnologías de corrientes de marea.

En la primera categoría, un dique recolecta energía a partir de la diferencia de altura entre marea alta y baja, convirtiendo la energía potencial en electricidad. Los dispositivos basados en esta tecnología han estado en funcionamiento desde la década de 1960. Las represas de marea representan una tecnología madura con algunas plantas en funcionamiento durante décadas, como La Rance de 240 MW, ubicada en Francia.

Las tecnologías de las corrientes de marea se aplican a las corrientes de agua generadas por los movimientos de las mareas. La energía se obtiene por medio de turbinas de eje horizontal o vertical. Los convertidores de corriente mareomotriz aún no han alcanzado el mismo nivel de madurez que los diques de marea, sin embargo, se está desarrollando una intensa actividad de investigación al respecto. Muchas grandes empresas industriales están desplegando dispositivos precomerciales y se están estudiando nuevas soluciones técnicas.

Las turbinas basadas en la tecnología desarrollada para la energía eólica y diseñada para ser ancladas al lecho marino representaron una primera generación de dispositivos de corrientes de marea. La segunda generación de convertidores de energía mareomotriz consiste en dispositivos flotantes que permiten reducir los costes de instalación y extraer energía de la parte más superficial de la ola.

El movimiento de marea genera corrientes que pueden superar una intensidad de 9 metros por segundo. La Agencia Internacional de la Energía estimó que las mareas podrían generar alrededor de 1,2 millones de MWh al año, en otras palabras, el 7,5% de toda la energía mundial.

Hasta ahora, es difícil estimar el coste medio de esta tecnología, ya que hay pocas plantas de marea operando en el mundo, los costes son muy específicos para cada localización, y en algunos casos se han utilizado estructuras previamente usadas. Las tecnologías de marea actuales se encuentran en la etapa de demostración, por lo que se prevé que las estimaciones de costes disminuyan con la implementación. Las estimaciones de varios estudios europeos para 2020 sobre las tecnologías actuales de las mareas oscilan entre 0,17 € / kWh y 0,23 € / kWh, aunque los proyectos de demostración actuales sugieren que el LCOE está en el rango de 0,25-0,47 EUR / kWh. Además, es importante señalar que los costes de estas tecnologías pueden reducirse considerablemente si se



combinan e integran en el diseño y en la construcción de las infraestructuras existentes o nuevas (IRENA, 2014).

#### 4.2.1. Principales proyectos en España.

El Proyecto Magallanes [16] se lanzó en 2007, en Redondela (Galicia, España), con el objetivo de desarrollar una tecnología capaz de extraer energía de las corrientes de marea. En 2012, el proyecto se encontraba en la etapa final de ensamblaje y construcción de un prototipo a escala real con 350 toneladas de peso. Las pruebas en el mar comenzaron a fines de 2015, principios de 2016.

El Proyecto Magallanes es hasta ahora la única iniciativa de investigación española en energía mareomotriz con un avanzado nivel de desarrollo. Se basa en una tecnología flotante sin dique y sin necesidad de anclarlo con pilares al fondo marino. Las principales ventajas de este proyecto están relacionadas con el bajo coste de mantenimiento e instalación, y una mayor eficiencia.

El sistema flotante se basó en la construcción de un trimarán construido en acero, con una parte sumergida anexa donde se instalaron los hidrogeneradores. Esta plataforma estaba anclada al fondo del mar por dos líneas de amarre, a proa y popa. Debido a su naturaleza flotante, no implicó ninguna construcción en el fondo del mar, por lo que es un dispositivo adaptable a todas las ubicaciones marítimas y con un bajo impacto ambiental.

Apoyado por la Xunta de Galicia, ha contado con cuarenta investigadores de universidades y centros tecnológicos que participaron en el desarrollo del modelo tecnológico, basado en maquinaria de tercera generación. También requería un desarrollo industrial respaldado por los conocimientos de I + D + i, tecnología y componentes que ya existían en las industrias de Vigo. Un equipo multidisciplinario experimentado participó en el desarrollo de todas las etapas de ejecución: desde la investigación universitaria hasta los trabajadores especializados en el astillero.



### 4.3 Energía undimotriz

La actividad de I + D en el sector de energía de las olas comenzó en la década de 1970, sin embargo, el desarrollo de las tecnologías de energía de las olas aún no ha alcanzado el mismo grado de madurez que el de la energía eólica y mareomotriz. La mayor cantidad de energía de las olas se encuentra a una latitud superior a 30 °. En Europa, las áreas con mayor densidad energética de olas se encuentran a lo largo de la costa frente al Océano Atlántico. El Mar Mediterráneo ofrece un menor nivel de energía de las olas, pero presenta un potencial para el desarrollo futuro. De hecho, es interesante observar que, si bien la investigación inicial en el sector se centró principalmente en dispositivos a gran escala que operan en entornos de alta energía, la investigación real se centra en dispositivos a pequeña escala y en la explotación de sitios de menor densidad energética. Esta elección tiene muchas ventajas económicas, ya que en el diseño de dispositivos a gran escala debe tenerse en cuenta la capacidad de flotabilidad en casos extremos con oleaje intenso, lo que aumenta significativamente los costes. Además, los dispositivos a pequeña escala están diseñados para operar en granjas offshore, por lo que las actividades de mantenimiento pueden realizarse sin una parada total de la producción. Igualmente, la fase de prueba de prototipos a pequeña escala puede ser más fácil y menos costosa.

Actualmente, existe una variedad de dispositivos basados en diferentes tecnologías offshore, pero ninguno de ellos ha asumido un papel de liderazgo. Se han utilizado muchos métodos diferentes para clasificar los convertidores de energía de las olas, basándose en la distancia desde la costa, el tamaño del dispositivo o el mecanismo de funcionamiento (LÓPEZ, 2013), (FALCAO, 2010) (Ottmar Edenhofer, 2011). A continuación, se muestra la clasificación propuesta por Falcao (FALCAO, 2010), basada en el mecanismo de funcionamiento:

Principales categorías:

- Los dispositivos de columna de agua oscilante (OWC) se encuentran entre los primeros convertidores de ola desarrollados. Se ubican en la costa o cerca de ella y están constituidos por una estructura sumergida que contiene una cámara con aire que se comprime y descomprime alternativamente con la entrada de agua de las olas. La presión del aire produce energía mediante una turbina. Algunos dispositivos flotantes se han desarrollado con el mismo principio.
- Los sistemas de cuerpo oscilante son dispositivos offshore constituidos por cuerpos oscilantes, flotantes o sumergidos. Usan el movimiento de ola incidente para inducir un movimiento oscilatorio



entre dos cuerpos que impulsa el sistema de toma de fuerza. Su principal desventaja es la distancia a la costa en su instalación, que requiere resolver problemas de amarre y necesita largos cables eléctricos sumergidos.

- Los convertidores de rebosamiento se basan en el uso de un depósito de agua que se encuentra a un nivel más alto que la superficie del mar; la energía potencial del agua se convierte en energía a través de turbinas hidráulicas situadas a una menor altura. Los convertidores de rebosamiento pueden ser estructuras flotantes o incorporarse a dispositivos rompeolas.

Los sistemas de toma de fuerza se utilizan para convertir el movimiento del agua en electricidad. En los casos en los que el movimiento es alternativo, como en el sistema de cuerpo oscilante o los dispositivos OWC, es necesario el uso de turbinas de rectificación automática, que giran en la misma dirección independientemente de la dirección del flujo de entrada. La mayoría de los dispositivos de cuerpo oscilante y OWC proporcionan la mejor producción en condiciones oscilantes, lo que requiere un diseño específico de la geometría de la estructura para adaptarse a las condiciones de oleaje locales.

A continuación, describimos las tecnologías más recientes e innovadoras que actualmente se están investigando en España.

#### 4.3.1. Desarrollo de la tecnología en España

La propagación de las olas desde aguas profundas hasta la orilla supone una reducción general de los recursos energéticos disponibles en un área (Monarcha Fernandes & Fonseca, 2013). Sin embargo, debido al proceso de refracción (Henriques, Cândido, Pontes, & Falcão, 2013), la energía de las olas se concentra en lugares específicos, siendo de gran interés para la explotación de este tipo de energía (Carballo, Sánchez, Ramos, Fraguela, & Iglesias, 2015).

Así, se evaluaron los patrones de olas a lo largo de la costa Norte de Galicia, y más específicamente en el Cabo Estaca de Bares (Iglesias & Carballo, 2010), demostrándose que este área posee una potencia de olas promedio de hasta  $40 \text{ kWm}^{-1}$ , lo que la convirtió en un área favorable para la explotación de energía de las olas (Carballo, Sánchez, Ramos, Fraguela, & Iglesias, 2015). Para la evaluación de este importante recurso energético (Iglesias & Carballo, 2010), se utilizó el conjunto de datos SIMAR-44, basado en datos retrospectivos que abarcan un periodo de 44 años (1958-2001) junto con datos de boyas.

Se realizó un modelo numérico (Iglesias & Carballo, 2010) de ese área y se analizaron varias condiciones, incluidas las condiciones de energía de distintos tipos de olas: medias, crecientes, extremas y en caída. Sobre la



base de los resultados numéricos, se identificaron diferentes puntos costeros como sitios donde existe una concentración de energía significativa, basada en la configuración batimétrica. Estos resultados, llevaron a definir varios lugares de interés potencial para la instalación de una granja de olas (Iglesias & Carballo, 2010) (Romillo, 2013).

Dos de estos sitios, uno cerca de la costa (a 20 m de profundidad y ubicado cerca del Puerto de San Ciprián) y otro en altamar (a 70 m de profundidad) fueron considerados para analizar el desempeño intra-anual de diferentes WECs. La definición de los sitios se realizó sobre la base de la potencia disponible considerando algunas condiciones de oleaje (Carballo, Sánchez, Ramos, Fraguera, & Iglesias, 2015).

En abril de 2016 se ubicó una innovadora granja de olas cerca de Gibraltar (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). La planta de energía inicial era de 100 kW y debería ampliarse para alcanzar los 5 MW en los próximos años.

El proyecto utiliza convertidores de onda de Eco Wave Power Ltd. Los convertidores de energía de onda usan flotadores unidos a una estructura fija.

Los flotadores se mueven hacia arriba y hacia abajo con los movimientos de las olas; el movimiento se transmite luego a una estación de energía ubicada en tierra que convierte la energía en presión, que se utiliza para hacer girar un generador que produce electricidad. Los flotadores y pistones se encuentran en el agua, mientras que todo el equipo técnico opera en tierra, lo que mejora la confiabilidad y proporciona un fácil acceso para el mantenimiento y la reparación.



Imagen 3. Planta de energía en Gibraltar<sup>2</sup>

<sup>2</sup> <http://www.ecowavepower.com/gibraltar-project/>





En 2015 se instaló un dispositivo de investigación en el mar Mediterráneo (dispositivo Butterfly), al norte de Valencia, por parte de Rotary Wave, una empresa emergente de Valencia (España), financiada con fondos de FEDER (Unión Europea). Un aspecto que califica esta nueva tecnología es su diseño para mares de potencial de olas de baja energía, ya que puede absorber energía de olas de 0,5 a 5 m. Más información sobre este proyecto en: [www.rotarywave.com](http://www.rotarywave.com).

#### 4.4 Conversión de energía térmica oceánica

La conversión de energía térmica oceánica (OTEC) para la producción de electricidad puede considerarse una tecnología emergente, con sólo un par de plantas en operación en todo el mundo durante 2014 (Institute for Energy and Transport, 2016) y una nueva planta OTEC de 100 kW, que se cree es la más grande del mundo conectada a la red eléctrica de Hawai durante 2015 (Makai Ocean Engineering, 2015) y operado por Makai Ocean Engineering (Estados Unidos).

La idea de OTEC es aprovechar la diferencia de temperatura entre el agua oceánica profunda más fría y la más cálida para producir electricidad.

OTEC necesita una diferencia de temperatura de aproximadamente 20 °C o más, lo que limita su aplicación principalmente a latitudes tropicales. Por lo tanto, la tecnología ofrece poco potencial en aguas continentales europeas, pero puede ser interesante en islas como La Réunion, Tahití, etc.

La energía OTEC se basa en el principio de Carnot sobre eficiencia energética aplicado a dispositivos de gradiente térmico oceánico. Se pueden diferenciar tres tipos principales de OTEC: ciclo abierto, ciclo cerrado e híbridos. En el sistema de ciclo abierto, el agua superficial caliente se evapora rápidamente y acciona una turbina. El agua fría se usa para condensar el vapor nuevamente. El agua desalinizada condensada se puede usar para diversos fines. El agua fría que se ha bombeado desde el mar puede alimentar los sistemas de aire acondicionado después de que se haya utilizado en el condensador. Además, el agua de mar fría también se puede usar en acuicultura, ya que es rica en nutrientes.

En cambio, las plantas OTEC de ciclo cerrado utilizan un fluido de trabajo con un punto de ebullición bajo. El vapor impulsa una turbina y se condensa usando agua de mar fría. En general, se pueden usar refrigerantes o amoníaco como fluido de trabajo, pero también se usan mezclas de agua y amoníaco (ciclo de Kalina). Las plantas de ciclo cerrado son más eficientes en comparación con las plantas de ciclo abierto. La planta de investigación y evaluación de Makai OTEC utiliza la diferencia de temperatura entre el agua oceánica profunda (a 670



metros) y el agua superficial para generar electricidad, donde un fluido de amoníaco que funciona a ciclo cerrado provoca el movimiento de una turbina para la generación de energía.

En el mar Mediterráneo, la diferencia de temperatura de las profundidades del mar es del orden de 10-12 ° C. Por lo tanto, es impensable usar esta diferencia de temperatura (superficie-fondo) para producir electricidad.

En consecuencia, esta tecnología sólo puede aplicarse en el Mediterráneo en instalaciones de aire acondicionado marítimo. Se puede usar a gran escala, con plantas destinadas a conectarse a la red de calefacción y refrigeración del distrito, o a menor escala, para la calefacción y refrigeración de edificios individuales, en una especie de sistema de energía distribuida para uso local, factible de cumplir los objetivos de eficiencia energética.

## 4.5 Gradiente de salinidad

La energía de gradiente de salinidad es una fuente de energía renovable que se puede aprovechar a partir de la mezcla controlada de dos masas de agua de concentración de sal diferentes. La mezcla de agua de mar y agua dulce es un proceso natural en las desembocaduras de los ríos que puede usarse para la producción de energía. Como las principales ciudades y áreas industriales a menudo se ubican en las desembocaduras de los principales ríos, se podrían construir plantas generadoras de gradiente de salinidad en esas áreas. Sin embargo, dado que la energía del gradiente de salinidad todavía es un concepto en desarrollo, se necesita más investigación para que esta tecnología se incorpore.

Hay dos conceptos que ya están relativamente bien investigados: el concepto de electrodiálisis inversa (RED) y el de ósmosis por presión retardada (PRO). Estos dos conceptos de conversión de energía a menudo se denominan potencia osmótica. El proceso RED aprovecha la diferencia en el potencial químico entre dos soluciones. La Imagen 4 muestra el concepto de sistema RED. La solución de sal concentrada y el agua dulce se ponen en contacto a través de una serie alterna de membranas de intercambio aniónico y catiónico (AEM y CEM). La diferencia de potencial químico genera un voltaje en cada membrana, donde el potencial global del sistema es la suma de las diferencias de potencial sobre la suma de las membranas (Ottmar Edenhofer, 2011).



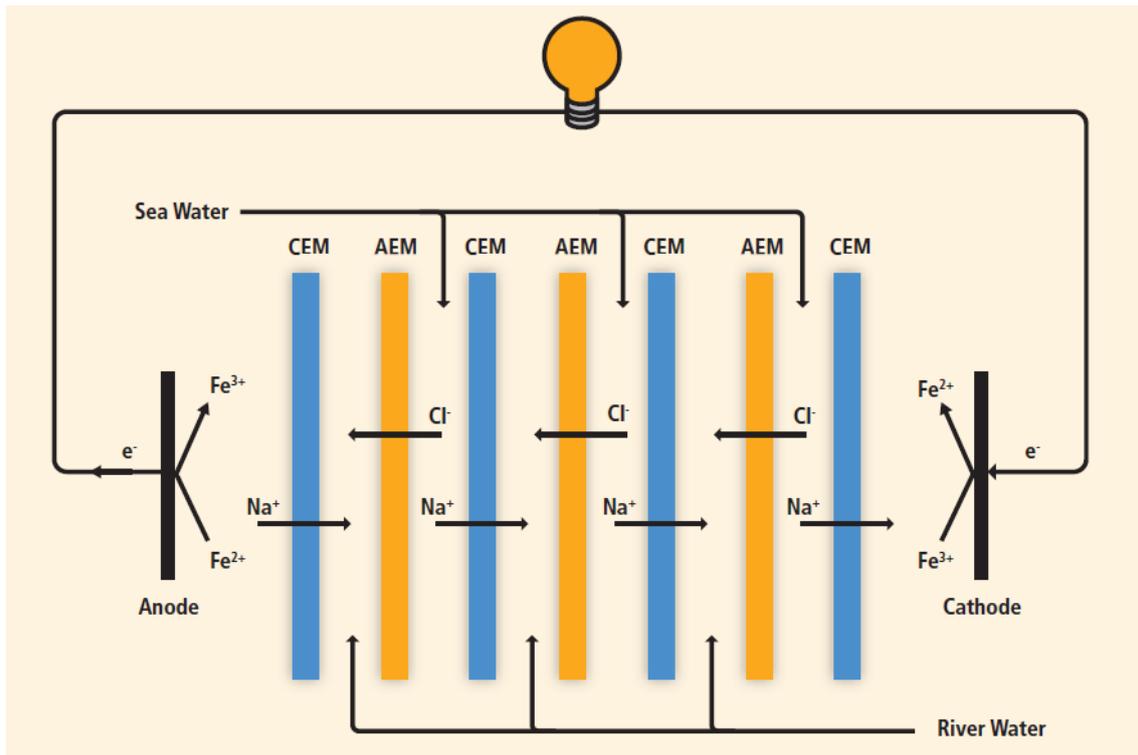


Imagen 4. Sistema de electrodiálisis inversa (RED)

La ósmosis por presión retardada (PRO), también conocida como energía osmótica, es un proceso donde el potencial químico se explota como presión. El proceso PRO utiliza ósmosis natural originada por la diferencia en la concentración de sal entre dos líquidos (por ejemplo, agua de mar y agua dulce). El agua de mar y el agua dulce tienen una fuerte tendencia a mezclarse y esto ocurrirá siempre que la diferencia de presión entre los líquidos sea menor que la diferencia de presión osmótica. En el módulo de membrana, el agua dulce migra a través de la membrana y en el agua de mar presurizada. El agua salobre resultante se divide en dos corrientes. Un tercio se utiliza para la generación de energía (que corresponde aproximadamente al volumen de agua dulce que pasa a través de la membrana) en una turbina hidroeléctrica, mientras que el resto pasa a través de un intercambiador de presión para presurizar el agua de mar entrante (Imagen 5). El agua salobre puede ser devuelta al río o al mar, donde las dos fuentes originales eventualmente se habrían mezclado. La primera central eléctrica piloto PRO de 5 kW se puso en servicio en Noruega en 2009 (Ottmar Edenhofer, 2011).



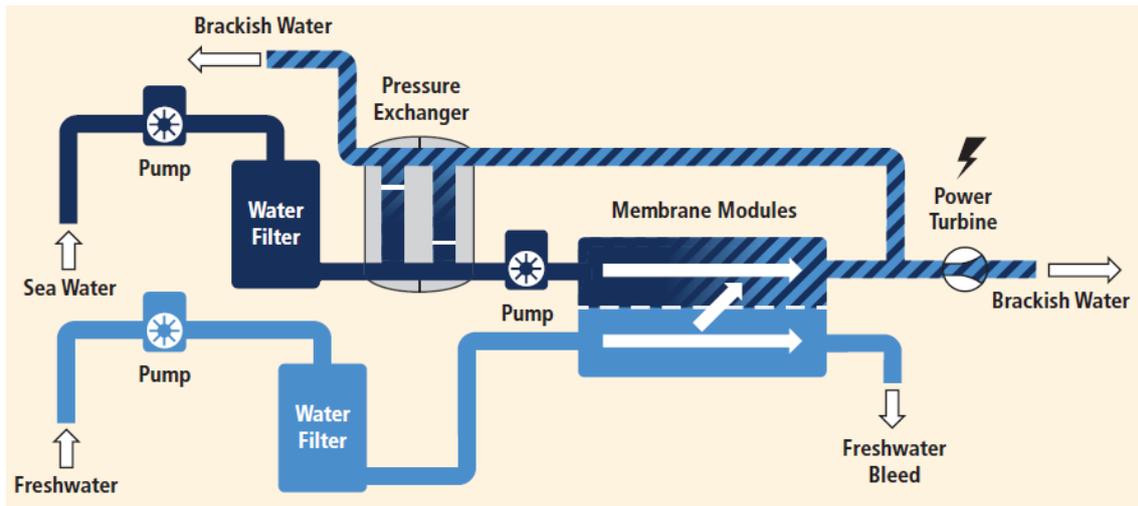


Imagen 5. Proceso de ósmosis por presión retardada

Recientemente, se ha inventado una nueva serie de técnicas, llamada "mezcla capacitiva", para la recuperación de energía del gradiente de salinidad. Se han estudiado tres tipos diferentes de procesos de "mezcla capacitiva", incluidos los dispositivos capacitivos de expansión de doble capa (CDLE), que almacenan iones en la doble capa eléctrica en la superficie del electrodo poroso cuando se aplica un voltaje externo, dispositivos basados en potencial capacitivo de Donnan (CDP), que emplean membranas selectivas de iones para separar cationes y aniones, y mezclas de baterías de entropía (MEB), que usan electrodos de batería que almacenan y liberan iones específicos (Ye, Pasta, Xie, Cui, & Criddle, 2014).

El MEB es una tecnología prometedora ya que utiliza electrodos de batería con una capacidad específica relativamente alta y baja autodescarga. En el estudio de Ye et al. (Ye, Pasta, Xie, Cui, & Criddle, 2014) se informa de una eficiencia del 74% de la extracción de energía para esta tecnología, por lo que es una tecnología prometedora para la recuperación de energía del gradiente de salinidad.

La tecnología funciona de tal forma que la primera corriente de agua de baja salinidad vacía la célula, y los iones en los electrodos se liberan en la solución.

Las membranas representan la parte crítica de la tecnología. La investigación se dedica a aumentar la densidad de potencia neta del orden de 2-3 W/m<sup>2</sup>, aunque se han alcanzado hasta 20 W en pruebas experimentales. El coste de las membranas supone la principal barrera económica para esta tecnología.

En los Países Bajos se ha desarrollado una planta piloto basada en tecnología RED que produce energía a partir de la diferencia de salinidad entre las aguas superficiales en los dos lados de la presa

Afsluitdijk. La planta piloto de 50kW fue inaugurada en 2013 y la instalación debería alcanzar una potencia de 200 MW.

Una futura aplicación interesante está relacionada con plantas híbridas que usan salmuera de plantas de desalinización. Una pequeña planta piloto RED de este tipo se puso en marcha en Trapani, en la costa oeste de Sicilia. La unidad RED estaba equipada con 50 metros cuadrados de membranas de intercambio iónico y se probó con soluciones de agua salobre y salmuera saturada. La producción de la planta se controló durante cinco meses alcanzando una potencia de aproximadamente 2,7 W / m<sup>2</sup> para el par de célula.

La compañía de energía Statkraft desarrolló el primer prototipo de planta PRO en 2009. La planta está ubicada en Tofte, Noruega, en las instalaciones de una fábrica de celulosa. La planta utiliza 2.000 m<sup>2</sup> de membranas y podría producir 10 kW.

Actualmente, sin embargo, las inversiones de Statkraft en poder osmótico se han detenido. Otras iniciativas para testar la tecnología PRO se están desarrollando en Canadá, Singapur y Corea del Sur.

La potencia disponible a escala global en forma de diferencia de salinidad es muy grande. La energía liberada de 1 m<sup>3</sup> de agua dulce se estima comparable a la energía liberada por un m<sup>3</sup> que cae sobre una altura de 260 m. Además, la disponibilidad y la previsibilidad de esta forma de energía son mucho más altas que la mayoría del resto de fuentes renovables. Las tecnologías RED y PRO aún se encuentran en una fase de demostración, y están realizando esfuerzos para desarrollar diferentes metodologías (IRENA, International Renewable Energy Agency, 2014).

El proyecto FP7 Capmix se ha dedicado a estudiar un enfoque diferente basado en la técnica de expansión de doble capa (CDLE) (Brogioli, Zhao, & Biesheuvel, 2011), que permite una mayor flexibilidad de diseño con respecto a RED y PRO. Se ha alcanzado una densidad de potencia de aproximadamente 300 W / m<sup>3</sup> en condiciones de laboratorio.

## **4.6 Integración de diferentes tecnologías en plataformas multifuncionales (MUP)**

En la Unión Europea se está realizando un esfuerzo particular en el sector de plataformas multifuncionales, con varios proyectos financiados en el marco del programa FP7.

El grado de madurez de las diferentes tecnologías de energías renovables marinas es muy diferente. El sector de las olas se encuentra en una etapa de desarrollo más temprana que el sector eólico marino, y sólo se han probado prototipos a gran escala de los convertidores de olas. Una forma



de impulsar el desarrollo de instalaciones de energía undimotriz puede ser promover el uso de la diversidad de recursos para desarrollar sinergias técnicas prometedoras, reducir la variabilidad de la energía renovable y reducir los costes de integración del sistema.

Además, más allá de la reducción de costes gracias a la conexión a redes eléctricas comunes, tecnologías de toma de fuerza e infraestructuras para la operatividad y el mantenimiento, es especialmente deseable fomentar el desarrollo de sinergias con otras actividades como plataformas de gas, acuicultura, piscifactorías y transporte.

En este contexto, el proyecto MERMAID, financiado por la Comisión Europea bajo la convocatoria FP7-OCEAN2011-1, está desarrollando diseños conceptuales para la próxima generación de plataformas offshore orientadas a los múltiples usos del espacio oceánico para la extracción de energía, la acuicultura y plataformas de transporte. Otros proyectos FP7 recientemente finalizados, TROPOS y H2Ocean también investigaron conceptos similares.

Existe una nueva metodología para el diseño de MUP, basada en criterios técnicos, ambientales, sociales y económicos (Zanuttigh, y otros, 2016).

La metodología consta de cuatro pasos: una fase de preselección, para evaluar la viabilidad de los diferentes usos marítimos del sitio; un diseño preliminar de esquemas alternativos basados en los usos marítimos identificados; una fase de clasificación, donde el desempeño de las plataformas multifuncionales se califica según los criterios seleccionados mediante la opinión de expertos, y un diseño preliminar de la plataforma seleccionada. Un ejemplo de aplicación de este procedimiento en alta mar se encuentra en la costa occidental de Cerdeña. En este sitio, se investiga específicamente el despliegue de una plataforma multifuncional que integra convertidores de energía de olas, turbinas eólicas marinas y acuicultura.

Entre los proyectos multiplataforma en el Mar Mediterráneo se encuentran el proyecto ORECCA: Plataformas de conversión de energía renovable off-shore ([www.orecca.eu](http://www.orecca.eu)), y la plataforma flotante YDRIADA, que utiliza energía eólica y solar para desalinizar agua de mar a agua potable.

El proyecto ORECCA analiza el estado de la técnica de los convertidores de energía renovable offshore actuales y las tecnologías de plataforma que están siendo utilizadas en los sectores del petróleo y el gas, la energía eólica marina y la energía oceánica. El análisis cubre los requisitos estructurales y los diseños de las diferentes soluciones técnicas, y describe los sistemas realizados, incluidos proyectos demostrativos y experimentales. La información técnica facilitada se ha procesado para idear posibles escenarios de desarrollo y penetración de las plataformas



de energías renovables en cada área. El proyecto analiza soluciones estructurales existentes y demostradas, e identifica sinergias tanto a nivel técnico (de instalación y operación) como a nivel no técnico (costes, permisos y otros).

"Ydriada" (Imagen 6) es una construcción flotante en alta mar diseñada principalmente para propósitos de desalinización. La plataforma está equipada con una turbina eólica y paneles solares capaces de producir la energía requerida para el proceso de desalinización.

Debido a la instalación de la turbina eólica, la plataforma se mantiene estable incluso en condiciones adversas de clima o del estado del mar. La unidad de desalinización es teóricamente capaz de producir 70.000 litros de agua dulce por día. El proyecto fue cofinanciado por el Estado griego (a través de la Secretaría General de Investigación y Tecnología) y la UE. La plataforma se instaló frente a la costa de la isla de Iraklia, perteneciente al archipiélago de las Cícladas, en el mar Egeo y estuvo funcionando durante un período de 2,5 años, tras los cuales se consideró que no era capaz de satisfacer las necesidades de agua dulce de la isla y se detuvo su operación<sup>3</sup>.



Imagen 6. Unidad de desalinización Ydriada<sup>4</sup>

<sup>3</sup> Más información en: <http://www.ecowindwater.gr/ViewShopStaticPage.aspx?Valued=1996>  
<http://nikitasnikitakos.weebly.com/desalination-floating-unit.html>  
<http://12degreesoffreedom.blogspot.gr/2008/04/greek-desalination-plant-powered-by.html>

<sup>4</sup> <http://www.ecowindwater.gr/ViewShopStaticPage.aspx?Valued=1996>



## 5. Potencial de crecimiento de las energías marinas en España

### 5.1 Energía eólica flotante

Para el cálculo del potencial eólico marino en España, se hace referencia a la zonificación final del "Estudio estratégico ambiental de la costa española", aprobada en abril de 2009 por los Ministerios de Medio Ambiente y Medio Rural y Marina, e Industria, Turismo y Comercio.

Esta zonificación se llevó a cabo de acuerdo con el potencial de afección de granjas offshore (OWF), de más de 50 MW, en cada área de la costa, teniendo en cuenta las condiciones socioeconómicas y ambientales. En una escala de planificación general, se sugirieron las siguientes categorías; ver también Fig. 19:

- ◆ "zonas de exclusión" (color rojo), en las cuales existía una incompatibilidad entre la existencia de OWF (más de 50 MW) y usos o actividades ya establecidos.
- ◆ "zonas adecuadas con condiciones" (color amarillo), donde el desarrollo de OWFs fue condicionado, en ausencia de información más detallada.
- ◆ "zonas adecuadas" (color verde), donde no se detectó incompatibilidad, en términos de planificación estratégica.



Imagen 7. Estudio ambiental estratégico de las zonas costeras españolas. Costa mediterránea

Como resultado de la zonificación de la "Encuesta Ambiental Estratégica de la costa", también se observó que el 75% de las costas españolas estaría disponible, a priori, para la implementación de OWFs, requiriéndose estudios más detallados para determinar la viabilidad medioambiental final. En la **referencia**, se proporciona el área útil para las categorías mencionadas anteriormente en kms y porcentualmente. El porcentaje más alto (39%),



corresponde a las áreas potenciales con condiciones, mientras que las zonas excluidas tienen el más bajo (24.3%).

	Zonificación EEAL	
	Área útil (km <sup>2</sup> )	Área (%)
Adecuada	84.666	36,8
Con condiciones	89.759	39,0
Excluída	55.889	24,3
Total	230.313	100

Tabla 1. Tipo de área con respecto al tipo de zonificación EEAL

La **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** muestra la distribución de rangos de velocidad del viento a 80m sobre el nivel del mar, con respecto a las zonas "apta" y "adecuada con condiciones" (sin considerar la llamada "exclusión"). El 41.02% de las áreas consideradas se caracterizan por velocidades del viento mayores a 7.5 m/s; las velocidades del viento superiores a 9.5 m/s se mantienen en el 5.13%.

Velocidad del viento (m/s)	Área (km <sup>2</sup> )	Área (%)
<4	369	0.21
4-4.5	319	0.18
4.5-5	577	0.33
5-5.5	3,319	1.9
5.5-6	12,707	7.29
6-6.5	29,889	17.14
6.5-7	26,351	15.11
7-7.5	29,344	16.82
7.5-8	28,169	16.15
8-8.5	13,652	7.83
8.5-9	10,517	6.03
9-9.5	10,264	5.88
9.5-10	6,617	3.79
>10	2,331	1.34
Total	174,425	100

Tabla 2. Desglose de la superficie disponible para el desarrollo potencial de OWF basado en rangos de velocidad del viento

Podría utilizarse, como referencia para los requerimientos mínimos de un sitio offshore, una velocidad media anual del viento de 7,5 m/s a 80m sobre el nivel del mar. A estos efectos, solo el 41% de la superficie del mar en España no fue excluida en la "Encuesta Ambiental Estratégica de la costa" y podría tener suficientes condiciones de viento para considerar inicialmente la implementación de proyectos offshore, incluidas las zonas de aguas profundas, siempre teniendo en cuenta la incertidumbre



asociada a la metodología utilizada en la evaluación del recurso eólico y la evolución tecnológica del sector.

El primer prototipo de una turbina eólica marina en aguas profundas (a 220m, 2,3 MW) se lanzó en Noruega en octubre de 2009. Todas las granjas offshore comerciales en el mundo y de proyectos eólicos marinos en España se refieren a profundidades batimétricas de menos de 50m. Por lo tanto, con el estado actual de la tecnología eólica marina, y considerando el horizonte 2020, todas las granjas offshore comerciales (sin incluir la I + D en aguas profundas, con fines experimentales) en España, deberían ubicarse en profundidades inferiores a 50 m.

En consecuencia, para calcular el potencial eólico marino en España, las granjas offshore solo podrían instalarse en lugares con una profundidad igual o inferior a 50 m. Mediante la implementación de esta restricción técnica, las áreas offshore de las costas mediterráneas españolas con profundidades adecuadas, se ven disminuidas considerablemente en cuanto a su superficie. En la Imagen 8 se representa esquemáticamente esta disminución.



Imagen 8. Zonas EEAL filtradas con batimetría. Costa mediterránea

Se considera que los proyectos de energía eólica marina son técnica y económicamente inviables en zonas con una velocidad media anual del viento inferior a 7,5 m/s a 80 m (altura estimada de la góndola de una turbina eólica marina).

Se estima que esta velocidad promedio podría suponer 2,650 horas equivalentes de operación netas, considerando la curva de potencia descrita en (PER 2011-2020) y las pérdidas generales entre 15% y 20%.

Aplicando los resultados del presente estudio del recurso eólico como referencia para el filtrado de velocidades del viento superiores a 7,5 m/s



a 80m de altura, las áreas disponibles de la costa española que tendrían un recurso eólico suficiente se muestran en Imagen 9. Si se aplican también criterios ambientales y la profundidad máxima permitida del agua de las subsecciones anteriores, las áreas adecuadas se reducirían aún más.



Imagen 9. Zonas EEAL filtradas con batimetría y recursos eólicos marinos. Costa mediterránea

En resumen, se obtuvieron las siguientes conclusiones del cálculo de ese análisis marino:

- Después de la aplicación de los filtros de datos técnicos y económicos asociados con la batimetría (superior a -50 m) y el recurso eólico necesario ( $v \geq 7.5$  m / s, 80 m snm), se concluyó que la costa española tendría alrededor de 3.500 km<sup>2</sup> de área de superficie útil para el desarrollo eólico marino.
- De esta superficie útil, el 60% se excluiría para la implementación de granjas offshore (potencia de más de 50 MW) debido a las consideraciones ambientales de la "Estudio Estratégico Ambiental Costero".

Estos resultados limitan en gran medida el desarrollo de granjas offshore en la costa española, a pesar de las áreas aparentemente extensas disponibles en el dominio público marítimo terrestre: alrededor de 23 millones de hectáreas en la franja de 24 millas, con 4.830 km de costa en la Península y otros 3.049 km de costa en los sistemas insular y extrapeninsular (según datos de IGN en su "Atlas Nacional de España").



	Zonificación EEAL de OWF		Filtro de batimetría (cotas >50m)		Filtro de recurso eólico ( $v > 7.5$ m/s, 80 m altura)	
	Área de costa (km <sup>2</sup> )	Área (%)	Área restante (km <sup>2</sup> )	Área (%)	Área restante (km <sup>2</sup> )	Área (%)
Zonas adecuadas	84.666	36,8	512	2,7	31	0,9
Zonas adecuadas con condiciones de exclusión	89.759	39	6.110	32,5	1.381	39,1
Total costa española	230.313					
Área adecuada filtrada	174.425		6.623		1.412	
% adecuada del total del área	75,73		2,88		0,61	

Tabla 3. Área disponible en la costa española, con respecto a la zonificación de EEAL

#### Ratio energía eólica marina por unidad de área

Una última hipótesis pero bastante esencial y de gran relevancia en el cálculo del potencial de energía eólica disponible en términos de potencia es la cantidad de turbinas eólicas marinas y sus unidades de potencia que pueden ubicarse razonablemente en cada unidad de superficie con suficiente potencial.

En el caso del potencial eólico en tierra, y debido a la evolución del nivel tecnológico de las turbinas eólicas, no fue un valor estable a lo largo del tiempo. Sin embargo, podría obtenerse una buena estimación de la relación de utilización marina media de alrededor de 6 MW/km<sup>2</sup>, asociada a los treinta proyectos eólicos reales en España a finales de 2009, presentada al Ministerio de Industria, Turismo y Comercio para una potencia superior a 7.500 MW (varios en concurrencia y algunos ubicados en zonas de exclusión).

Aplicando esta tasa de ocupación promedio, el potencial eólico marino en las costas españolas, en las áreas clasificadas como "aptas" y "adecuadas con condiciones" según el estudio estratégico ambiental de la costa (para la implementación de parques eólicos marinos con una producción de más de 50 MW), en las condiciones batimétricas antes mencionadas y con la disponibilidad de suficientes recursos eólicos, sería



de aproximadamente 8.500 MW (y aproximadamente 5.000 MW para sitios con velocidades medias de viento superiores a 8 m/s, 80 m snm).

Es importante destacar que el área superficial efectiva debido a consideraciones ambientales será aún menor porque, como ya se mencionó, la aptitud ambiental definitiva para la introducción de tecnología eólica marina en áreas clasificadas como "aptas" y "adecuadas con condiciones" será determinado para cada proyecto específico, después de los estudios detallados necesarios.

En cuanto a estudios locales / regionales, EWEA estableció la energía eólica marina total instalada en España unos 5 MW (Colmenar *et al.*, 2016), y correspondió a la turbina eólica de Gamesa (G128) de 5 MW, ubicada en Arinaga (Las Palmas de Gran Canaria). No obstante, la energía eólica marina en España se encuentra en estado de paralización y actualmente no hay proyectos planificados para la implementación de parques eólicos marinos (Colmenar *et al.*, 2016).

Hasta 2008 se planificaron varios proyectos para la implementación de granjas offshore en las costas españolas. Entre los proyectos más destacados se encuentran el proyecto Acciona para la instalación de 1000 MW en el Mar de Trafalgar (Colmenar *et al.*, 2016) o los 300 MW de la empresa Capital Energy en aguas de Tarragona-Castellón. Además el área eólica marina de Iberdrola Renewables solicitó desarrollar actividades de investigación para varios proyectos como Costa de la Luz (Huelva), Punta del Gato (Huelva), Punta de las Salinas (Castellón), Costa de Azahar (Castellón), Costa de la Luz (Cádiz) y Banco de Trafalgar (Cádiz). Cada uno de estos últimos proyectos tendrá una capacidad estimada de alrededor de 500 MW (Colmenar *et al.*, 2016). No obstante, actualmente no se están desarrollando proyectos sin una caracterización de las zonas eólicas offshore (Colmenar *et al.*, 2016).

El Real Decreto-ley 9/2013, de 12 de julio, estableció medidas imperativas para garantizar la estabilidad financiera del sistema eléctrico. Los procedimientos de preasignación se suspendieron temporalmente y se eliminaron los incentivos económicos para las nuevas instalaciones de cogeneración, energía renovable y residuos (Colmenar *et al.*, 2016). Por lo tanto, los esfuerzos para el desarrollo de la tecnología eólica marina se han clausurado.

Esta situación no ha cambiado después de la aprobación del Real Decreto 413/2014, de 6 de junio, donde se controló la actividad de producción de electricidad a partir de fuentes de energía renovables, cogeneración y residuos, cambiando el sistema de incentivos a un régimen de remuneración específico para este tipo de tecnologías que proporcionan incentivos a la inversión.



Además, la eliminación de las tarifas de alimentación para las energías renovables y la falta de fondos públicos de la crisis económica también han llevado a la congelación del proyecto ZEFIR (Colmenar et al., 2016). Dicho proyecto incluía el desarrollo de una plataforma de prueba para turbinas eólicas de aguas profundas, cuya implementación se planificó en la costa de Tarragona (España) y tuvo como objetivo ser utilizado como un sitio piloto para probar la nueva tecnología necesaria (Colmenar et al., 2016).

Sin embargo, el sector tiene una gran capacidad en I + D, lo que mejora la continuidad de varios proyectos de I + D + i (Colmenar et al., 2016). Específicamente, el proyecto español FloCan5, con una subvención de la UE de 34 millones de euros. Se trata de una plataforma eólica que se ubicará entre 1,5 y 3,7 km de la costa sudeste de Gran Canaria, que se basará en cinco aerogeneradores de 5 MW, con una capacidad total de 25 MW.

Otra plataforma eólica marina española, con dos turbinas de 5 MW y dos más de 8 MW (Colmenar et al., 2016) se ubicará en el Golfo de Bizkaia, en la costa de Arantzazu, y recibirá más de 33 millones de euros.

## 5.2 Energía mareomotriz

González-Caballín et al. (2016) realizó una evaluación del potencial energético de las corrientes de marea para el caso del estuario del puerto de Avilés. El puerto de Avilés se encuentra en el estuario de un río en la costa norte de España y desemboca en el mar Cantábrico, la parte más meridional del Golfo de Vizcaya. Es un canal de 5000 m de longitud con un ancho promedio de 160 m y una profundidad casi constante de 11,5 m.

González-Caballín et al. (2016) reportaron un modelo bidimensional de alta resolución (2D) equivalente del puerto que consistía en una sección longitudinal (incluida profundidad y longitud) justificada por la gran anchura del canal en relación con su profundidad. Por otra parte, se utilizó una metodología de simulación que utiliza Dinámica de Fluidos Computacional (CFD) para obtener el campo de velocidad en diferentes partes. Utilizando esta última información, se logró una evaluación general del potencial energético de las corrientes de marea.

## 5.3 Energía undimotriz

España es un país con un gran potencial para la energía de las olas, debido a su extensa costa, principalmente en la costa norte, bañado por un mar con un recurso abundante, estable y predecible, todos ellos factores ideales para la generación de energía de las olas; ver Iglesias et al. (2010) e Iglesias y Carballo (2010).



Actualmente, España es uno de los principales países donde se desarrollan diferentes tecnologías en este campo y pretende convertirse en un referente y líder mundial del futuro. La costa gallega tiene los valores de potencial energético más altos, con una potencia media entre 40-45 kW / m. El mar Cantábrico es la siguiente zona costera en términos de recursos, alrededor de 30 kW / m. El Mediterráneo y el Golfo de Cádiz tienen valores medios anuales de menos de 10 kW / m. Varios prototipos de energía de las olas ya han comenzado a probarse en diferentes áreas del país, con el objetivo final de que en unos pocos años la fuerza de las olas se convierta en una fuente de energía renovable.

Los estudios regionales que se centran en la evaluación de recursos de energía de las olas se pueden encontrar en Sierra et al. (2014) para Menorca Isl., y Ponce de León et al. (2016) para el Mar Balear.



## 6. Legislación y normativa

### 6.1 Políticas que promueven la producción de energía azul en el mar Mediterráneo y estado regulador de las instalaciones de energías marinas en España

#### 6.1.1. Políticas Europeas

La norma europea de referencia para la promoción del uso de la energía procedente de fuentes renovables es la Directiva UE 2009/28 / CE, que establece un marco común para los Estados miembros. Establece objetivos para todos los países de la UE con el objetivo general de hacer que las fuentes de energía renovables representen el 20% de la energía de la UE y el 10% de la energía específicamente en el sector del transporte para 2020. Los Estados miembros deben diseñar planes de acción nacionales para 2020 para las fuentes de energía renovables en el transporte, la calefacción y la producción de electricidad; establece un plan de intercambio de energía renovable para ayudar a los países de la UE a alcanzar sus objetivos de manera rentable y obliga a los Estados miembros a garantizar el origen de la electricidad, calefacción y refrigeración producidas a partir de fuentes de energía renovables y construir la infraestructura necesaria para utilizar fuentes de energía renovables en el sector del transporte. Para el sector específico de Energías Marinas, la Directiva 2014/89 / EU también es relevante, ya que establece un marco para la aplicación de la planificación espacial marítima y la gestión costera integrada por parte de los Estados miembros destinada a promover el crecimiento sostenible de las economías marítimas, el desarrollo sostenible de los recursos marinos áreas y el uso sostenible de los recursos marinos.

#### 6.1.2. Políticas nacionales

En España, el marco regulatorio de la energía marina está determinado por varias leyes, como el RD 661/2007, que regula la producción de electricidad en un régimen especial e identifica la energía de las mareas y las olas en el grupo b.3 y el RD 1028/2007, que establece el procedimiento administrativo para la autorización de instalaciones de generación eléctrica en el mar territorial.

La regulación legal de las energías renovables tiene sus propias connotaciones que convergen con las dificultades derivadas de los niveles regulatorios más elevados, lo que le confiere una gran complejidad jurídica y dificulta la gestión integral de las mismas (Díaz Lagares, 2016). Actualmente, no existe una legislación básica sobre



energías renovables que transponga efectivamente la Directiva 2009/28 / CE (Ley 2/2011 de 4 de marzo sobre Economía Sostenible, 2011).

En relación a los aspectos retributivos de las energías renovables, con la nueva Ley 24/2013, de 26 de diciembre, del Sector Eléctrico (BOE 310, 2013) y el Real Decreto 413/2014, de 6 de junio, que regula la actividad de producción de electricidad energía procedente de fuentes de energía renovables, cogeneración y residuos (BOE 140, 2014), el componente ambiental ha sido relegado a un nivel secundario, aprovechando al máximo el principio de sostenibilidad económica y financiera del sistema eléctrico. La crisis económica, las políticas de consolidación fiscal y el crecimiento de la dinámica relacionada con una mayor descarga a la red eléctrica discontinua (plantas que no pueden producir al máximo de su capacidad de potencia) han tenido más fuerza que el componente ambiental de la energía renovable (Sevilla Jiménez, Golf Laville, & M. Ohana, 2013).



## 7. Bibliografía

- (27 de Diciembre de 2013). BOE 310(310).  
(10 de Junio de 2014). BOE 140.
- AENOR. (2011). Gestión de la I+D+i: Sistema de vigilancia tecnológica e inteligencia competitiva. UNE 166000 EX, UNE 166001 EX, UNE 166002 EX. Madrid: AENOR.
- Aleanza García, J. (2014). ¿Hacia un marco jurídico común de energías renovables y cambio climático? XI Coloquio Hispano-Portugués de Derecho Administrativo. Salamanca,.
- Aprumar. (2016). *La acuicultura en España*. Observatorio Español de Acuicultura (Oesa).
- Brogioni, D., Zhao, R., & Biesheuvel, P. (2011). A prototype cell for extracting energy from a water salinity difference by means of double layer expansion in nanoporous carbon electrodes. *Energy & Environmental Science*, 4, 772-777.
- Carballo, R., Sánchez, M., Ramos, V., Fraguera, J., & Iglesias, G. (March de 2015). The intra-annual variability in the performance of wave energy converters: A comparative study in N Galicia (Spain). *Energy*, 82, 138-146.
- CETISME, P. (2003). *Inteligencia Económica y Tecnológica. Guía para principiantes y profesionales*. Comunidades Europeas.
- Comisión de las comunidades europeas. (2014). COMUNICACIÓN DE LA COMISIÓN AL PARLAMENTO EUROPEO, AL CONSEJO, AL COMITÉ ECONÓMICO Y SOCIAL EUROPEO Y AL COMITÉ. *La energía azul. Medidas necesarias para aprovechar el potencial de la energía oceánica de los mares y océanos europeos hasta 2020 y en adelante*. Obtenido de <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?qid=1396419828231&uri=CELEX:52014DC0008>
- Degoul, P. (1992). *Le pouvoir de l'information avancée face au règne de la complexité*. Annales de Mines.
- Díaz Lagares, V. (2016). Los retos de la energía eólica marina en España: el papel de las C.C.A.A. y la ordenación de los espacios marinos ante la Directiva 2014/89/UE. *Actualidad jurídica ambiental*, 4, 1-26.
- Escorsa, P. R. (2001). *De la vigilancia tecnológica a la inteligencia competitiva*. Pearson Educación.
- Escorsa, Pere, Pilar Lázaro Martínez, Círculo de Innovación en Biotecnología. (2007). *Intec: la inteligencia competitiva, factor clave para la toma de decisiones estratégicas en las organizaciones*. Colección *mi+d*. Fundación Madri+d para el Conocimiento.
- Europea, C. (2012). COMUNICACIÓN DE LA COMISIÓN AL PARLAMENTO EUROPEO, AL CONSEJO, AL COMITÉ ECONÓMICO Y SOCIAL EUROPEO Y AL COMITÉ DE LAS REGIONES - *Crecimiento azul*



- Oportunidades para un crecimiento marino y marítimo sostenible.* Obtenido de <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=CELEX%3A52012DC0494&from=EN&lang3=choose&lang2=choose&lang1=ES>
- Europea, C. (s.f.). *Acuicultura.* Obtenido de [https://ec.europa.eu/fisheries/cfp/aquaculture\\_es](https://ec.europa.eu/fisheries/cfp/aquaculture_es)
- Europea, C. (s.f.). *Crecimiento Azul.* Obtenido de [https://ec.europa.eu/maritimeaffairs/policy/blue\\_growth\\_es](https://ec.europa.eu/maritimeaffairs/policy/blue_growth_es)
- F. Palop, J. V. (Febrero de 1995). Vigilancia Tecnológica e Inteligencia Competitiva. *Estudios Cotec, nº 15.* Cotec.
- FALCAO, A. F. (2010). Wave energy utilization: A review of the technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*(14), 899–918.
- FAO. (12 de Mayo de 2017). *FAO 2005-2017. National Aquaculture Sector Overview. Visión general del sector acuícola nacional - España.* (FAO, Ed.) Obtenido de [http://www.fao.org/fishery/countrysector/naso\\_spain/es](http://www.fao.org/fishery/countrysector/naso_spain/es)
- Henriques, J., Cândido, J., Pontes, M., & Falcão, A. (December de 2013). Wave energy resource assessment for a breakwater-integrated oscillating water column plant at Porto, Portugal. *Energy, 63,* 52-60.
- Iglesias, G., & Carballo, R. (July de 2010). Wave energy resource in the Estaca de Bares area (Spain). *Renewable Energy, 35*(7), 1574-1584.
- Institute for Energy and Transport. (2016). *2014 JRC ocean energy status report: Technology, market and economic aspects of ocean energy in Europe - Study.*
- IRENA, I. (June de 2014). [www.irena.org](http://www.irena.org).
- IRENA, International Renewable Energy Agency. (June de 2014). *Ocean Energy Technology Brief 2.* Obtenido de [www.irena.org](http://www.irena.org)
- Ley 2/2011 de 4 de marzo sobre Economía Sostenible. (5 de Marzo de 2011). *BOE*(55).
- LÓPEZ, J. A. (November de 2013). Review of wave energy technologies and the necessary power-equipment. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 27,* 413-434.
- Makai Ocean Engineering. (29 de August de 2015). *Makai connects world's largest ocean thermal plant to US grid, press release .* Obtenido de Oahu, HI: [http://www.makai.com/%20makai-news/2015\\_08\\_29\\_makai\\_connects\\_otec/](http://www.makai.com/%20makai-news/2015_08_29_makai_connects_otec/)
- Monarcha Fernandes, A., & Fonseca, N. (June de 2013). Finite depth effects on the wave energy resource and the energy captured by a point absorber. *Ocean Engineering, 67,* 13-26.
- Mora Ruiz, M. (2014). La ordenación jurídico-Administrativa de las Energías renovables como pieza clave en la lucha contra el cambio climático: ¿un sector en crisis? *Actualidad Jurídico Ambiental, 10.*
- Ottmar Edenhofer, R. P.-M. (Ed.). (2011). *Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation: Special Report of the*



- Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, 2011.
- Romillo, P. (2013). *Wave energy resource and farm location assessment in front of the Port of San Ciprián (NW Spain)*.
- Sevilla Jiménez, M., Golf Laville, E., & M. Ohana, D. (2013). Las energías renovables en España. *Estudios de Economía Aplicada*, 31 (1), 55.
- WindEurope. (September de 2016). *Wind Energy: backbone of the EU global leadership in renewables*. Obtenido de <https://windeurope.org/wp-content/uploads/files/policy/position-papers/WindEurope-Global-leadership-in-wind.pdf>
- Ye, M., Pasta, M., Xie, S., Cui, Y., & Criddle, C. (2014). Performance of a mixing entropy battery alternately flushed with wastewater effluent and seawater for recovery of salinity-gradient energy. *Energy Environmental Science*, 7, 2295-2300.
- Zanuttigh, B., Angelelli, E., Kortenhuis, A., Kaan, K., Yukiko, K., & Phoebe, K. (January de 2016). A methodology for multi-criteria design of multi-use offshore platforms for marine renewable energy harvesting. *Renewable Energy*, 85, 1271-1289.





centro  
tecnológico  
naval y del mar

marine  
technology  
centre

[www.ctnaval.com](http://www.ctnaval.com)