

Aprovechamiento de energías marinas en instalaciones existentes en España

Use of Marine Energies in Existing Installations in Spain

Juan Manuel Espada Cuesta^{1*}

Resumen

En transición hacia un futuro con la utilización de una energía limpia y renovable, surge la necesidad de explorar nuevas formas de energía que permitan aprovecharse de manera plena, competitiva y sostenible. Un ejemplo de ello son las energías marinas.

Este artículo consiste en el estudio de las energías marinas, con el fin de conocer su estado actual y establecer unas bases adecuadas que permitan analizar el potencial energético marino en la costa española, pudiendo así utilizar las instalaciones existentes en el mar para la ubicación de dispositivos energéticos marinos en diferentes lugares repartidos a lo largo del litoral español.

Palabras clave: renovables, eólica marina, undimotriz, mareomotriz.

Abstract

In the transition underway towards a future with the use of clean and renewable energy, the need arises to explore new forms of energy that can be used in a full, competitive and sustainable way. An example of this is marine energy.

This article consists of a study of marine energies, with the aim of ascertaining their current state and establishing suitable bases for analysing the marine energy potential on the Spanish coast, thus being able to use existing installations in the sea to locate marine energy devices in different places distributed along the Spanish coastline.

Keywords: renewable, offshore wind, wave energy, tidal energy.

1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años debido al cambio climático y la alta dependencia de combustibles fósiles, se ha originado una preocupación política al respecto. Con el objetivo de prevenir un problema mayor, se han creado unas políticas climáticas y energéticas para conseguir una sostenibilidad ambiental.

Para ello, las energías renovables juegan un papel fundamental. En este artículo se hará hincapié en las energías de origen marino. El océano ha sido una parte integral de la civilización humana y de su desarrollo desde tiempo atrás y, aunque su uso potencial en la generación de energía ha sido objeto de diferentes patentes, las tecnologías capaces de aprovechar este vasto recurso solo se han desplegado con un cierto interés recientemente. Los océanos y los mares tienen el potencial de desempeñar un papel importante en el suministro de energía limpia e inagotable, ya que contiene grandes cantidades de energía.

Los recursos energéticos oceánicos se estiman con un potencial de 120.000 TWh cada año (OES, 2015), suficiente como para satisfacer más del 400% de la demanda global de electricidad.

Para el aprovechamiento y el conocimiento de las energías marinas surge la Agencia Internacional de la Energía (AIE), que es una organización que trabaja para asegurar

una energía confiable, segura y limpia. Las cuatro aéreas principales que engloba son:

- Seguridad energética
- Desarrollo económico
- Conciencia ambiental
- Participación en todo el mundo

A través de un extenso trabajo, la Agencia Internacional de la Energía está a la vanguardia de proporcionar aportes a los objetivos internacionales para el despegue de la energía oceánica y de ofrecer recomendaciones prácticas para eliminar las barreras a la penetración de los mercados.

Con el objetivo de impulsar el sector, han surgido diversas iniciativas para poder aprovechar su potencial energético. Una de ellas es el Acuerdo de Implantación de Sistemas Energéticos Oceánicos (IEA-OES), que tiene como objetivo tener instalados 337 GW de capacidad en todo el mundo en el año 2050, situación que a día de hoy se prevé difícil de conseguir (IEA, 2015).

En cuanto a las barreras que actualmente deben superarse son las relacionadas con la tecnología, ya que representan el reto más importante del sector de la energía oceánica tanto a corto como a medio plazo. El desarrollo tecnológico es primordial para el crecimiento del sector y para el establecimiento de un mercado estable en todo el mundo.

Otra de las barreras a las que se enfrenta actualmente el sector se debe a la alta demanda de capital de los primeros proyectos, en los que resulta clave asegurar la inversión.

* E-mail: j.m.espadacuesta@gmail.com

¹ Máster en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos.

Para que la tecnología oceánica resulte viable es crucial que tenga un apoyo financiero público para su desarrollo.

En los últimos años el sector ha sido testigo de señales alentadoras, en el que algunas tecnologías marinas como la undimotriz, la mareomotriz y la eólica han hecho progresos significativos.

Si bien a pesar de los progresos que se han realizado, la previsión a corto y a largo plazo para el sector es muy modesta. Esto es debido a la situación incipiente de las tecnologías y a los obstáculos técnicos, medioambientales y financieros que obstaculizan el desarrollo del mercado (Ocean Energy, 2015).

Este artículo resume los resultados de un Trabajo Fin de Máster, en el que se desarrolló un estudio que permitirá mejorar la situación actual de las energías marinas en nuestro país.

2. OBJETIVOS

Su objetivo principal consistió en analizar la viabilidad para la implantación de dispositivos energéticos en infraestructuras existentes a lo largo de la costa española, destacando el gran potencial existente en ella. Cuando se habla de instalaciones existentes, se hace referencia a diques, espigones y plataformas oil/gas repartidas a lo largo del litoral español. Para ello, ha sido necesario un análisis exhaustivo de las energías marinas junto con la tecnología actual existente, además de analizar el potencial energético marino a lo largo del litoral español.

3. METODOLOGÍA

El primer paso de este trabajo se fundamenta en la necesidad de emplear energías renovables, en este caso energías marinas, para conseguir una sostenibilidad ambiental y reducir los gases contaminantes de la atmósfera. Para ello se ha realizado una búsqueda exhaustiva de la información sobre las energías marinas existentes, además de conocer su estado actual y las perspectivas a corto y a largo plazo que se prevé que alcancen.

Tras realizar un análisis completo de cada una de las fuentes energéticas marinas, resulta de vital importancia conocer y diferenciar cada una de las tecnologías existentes encargadas para su aprovechamiento energético. Para ello, se ha realizado un estudio detallado que permita conocer el estado actual y el grado de desarrollo de cada una de las energías marinas.

Dicha documentación resultará clave para abordar la siguiente parte de este trabajo, que consistirá en realizar un estudio y análisis detallado del potencial energético marino a lo largo del litoral español. Para ello se ha dividido la costa española por zonas, para posteriormente conocer en detalle cual es el potencial energético marino asociado a cada una de ellas. Este estudio va a permitir conocer cuáles son las zonas más óptimas para la instalación de dispositivos energéticos. Además, se ha realizado un análisis de los proyectos energéticos existentes en cada una de las zonas de estudio, así como futuros proyectos en un avanzado estado de desarrollo.

En base a todo lo anterior se realizará un estudio para la implantación de dispositivos energéticos marinos a lo largo de las infraestructuras existentes a lo largo de la costa española. Las infraestructuras hacen referencia a diques, espigones y plataformas oil/gas.

Se han identificado las instalaciones existentes en cada una de las zonas en las que se ha dividido la costa española y, una vez hecho esto se ha desarrollado un estudio más detallado de tres infraestructuras, las cuales poseen las mejores condiciones técnicas y energéticas para la instalación dispositivos energéticos. Este estudio se ha realizado para cada una de las zonas en las que se ha dividido la costa española. Cada modelo de estudio está compuesto por un análisis donde se determinarán las características técnicas de la sección a estudiar y las características energéticas de la zona de estudio.

En base a los resultados obtenidos se determinará el tipo de dispositivo de captación a instalar. Atendiendo al tipo de dispositivo se realizará un plan de obra resumido, seguido de un análisis económico básico donde se mostrará la viabilidad de cada uno de los casos de estudio.

4. ENERGÍAS MARINAS

La preocupación por el cambio climático y la necesidad de reducir las emisiones de gases contaminantes han provocado que haya una mayor necesidad en cuanto al estudio y a la explotación de las energías renovables. Se conoce como energía renovable aquella que utiliza los recursos naturales, que son inagotables a escala humana, y cuyo impacto al medio ambiente es muy reducido.

El sector de las energías marinas renovables en los últimos años ha tenido un mayor reconocimiento, ya que se está hablando de unas energías limpias e inagotables que se encuentran prácticamente sin explotar. El gran potencial que muestran las energías marinas se debe en gran parte al abanico de posibilidades que ofrecen para su explotación.

- Energía eólica marina
- Energía undimotriz
- Energía mareomotriz
- Energía de corrientes
- Energía térmica marina
- Energía de gradiente salino
- Biomasa marina
- Energía geotérmica marina
- Energía solar marina

Por otra parte, ante el creciente interés que han generado las energías renovables marinas en los últimos años, más de una docena de países han creado políticas de apoyo para el desarrollo y la explotación de dicha energía así como normativas específicas para su regulación con el fin de crear una mayor competitividad en el sector, y poder mejorar técnica y económicamente.

La Agencia Internacional de la Energía (AIE) ha acordado algunos paquetes legislativos en materia de cambio climático, fijando unos objetivos ambiciosos. Para ello ha fijado dos fechas claves para el futuro de la energía oceánica. Uno de ellos es el 2020, donde prevé que se alcance un mayor grado de desarrollo y madurez tecnológica. La otra fecha clave en el futuro de la misma es el año 2030, donde se espera que los costos nivelados (LCOE) alcancen unos valores que les permitan ser competitivos (IRENA, 2014).

Ante estos objetivos, multitud de empresas se han puesto en marcha en la fabricación, diseño y estudio de multitud de prototipos para la explotación de este recurso energético. Por ello, se ha analizado los diferentes tipos de tecnología

que emplea cada fuente energética, pudiendo establecer el estado actual de desarrollo tecnológico de cada una de ellas.

Las proyecciones de los costes nivelados (LCOE) adquieren un papel fundamental, ya que son la piedra angular para el desarrollo de los diferentes dispositivos y proyectos energéticos. El objetivo final es generar una energía a un coste que sea competitiva con otras formas alternativas de generación energética.

En la actualidad no existe un enfoque internacional y estandarizado para elaborar estimaciones de costes (LCOE) que permitan crear un mercado estable, ya que la falta de reglas y directrices hace que los resultados sean incomprensibles. De ahí que actualmente exista un amplio rango en los datos que se proporcionan debido a la diversidad de conceptos lo que dificulta su estudio y desarrollo (OES, 2015).

Este estudio ha permitido conocer qué; la eólica *offshore*, undimotriz y mareomotriz son las que presentan un mayor grado de desarrollo. A pesar de ello, estas energías han experimentado una desaceleración en su etapa de progreso debido a las altas inversiones que hay que realizar combinado con los riesgos técnicos asociados.

El resto de energías marinas requieren aún más de inversiones en I+D+i para poder desarrollar e implantar una tecnología a escala comercial fiable, ya que la mayoría de proyectos están orientados a un estado precomercial.

Actualmente el sector está sometido a unas barreras que impiden que tenga un crecimiento adecuado. Las principales barreras están relacionadas con el desarrollo de las infraestructuras, el avance tecnológico, el sector, las condiciones financieras, planificación de los proyectos, etc. (Ocean Energy, 2015).

Con el fin de solventar los problemas relacionados con el sector se han impuesto una serie de soluciones como son:

- Comprender mejor las barreras que obstaculizan su desarrollo
- Una mayor incentivación en los mercados
- Será necesario un apoyo financiero de las entidades públicas

Siendo necesario el apoyo de los Gobiernos y de la ciudadanía. El papel del Gobierno es decisivo tanto en lo que se refiere a la I+D como al establecimiento de marcos legales que favorezcan la inversión. Deben ser más consistentes en el esfuerzo por comercializar todas las aplicaciones necesarias para el aprovechamiento energético. Con una visión sólida junto con una amplia cooperación y una planificación pragmática se pueda aprovechar cada vez más la abundante, limpia y segura energía almacenada en los océanos del mundo.

En lo referente a la participación de la ciudadanía es fundamental que haya una mejor percepción sobre este tipo de energías y los beneficios que con ellas se obtendrían. Actualmente existe un gran desconocimiento de las posibilidades que ofrece el mar para la obtención de una energía limpia e inagotable.

Aun teniendo en cuenta las soluciones impuestas, las previsiones a corto y largo plazo para el sector son muy modestas, al tratarse de una energía que se encuentra en estado "inicial" sigue presentando ciertas carencias que dificultan su progreso.

Haciendo referencia a nuestro país, el Consejo Europeo aprobó en 2009 el objetivo obligatorio de alcanzar una

cuota del 20% de energía procedente de fuentes renovables en el consumo total de la Unión Europea en el año 2020. En España, la Directiva 2009/28/CE, se asumieron los objetivos energéticos y elaboró el Plan de Acción Nacional de Energías Renovables (PANER).

El Plan de Acción Nacional de Energías Renovables (PANER) constituye un hito en el impulso de las energías renovables, ya que la fijación de unos objetivos marca una senda de futuro y abre un horizonte de oportunidades para el desarrollo de nuevas fuentes y tecnologías de energía renovables. El desarrollo de un nuevo sector energético constituye un reto de envergadura donde se requiere de una visión a largo plazo y de una fuerte voluntad política para llevarla a cabo. Se estableció como objetivo tener instalados 100 MW de energía oceánica para el año 2020 (IDAE, 2011).

En los primeros años tras su aprobación, el sector experimentó un crecimiento notable donde se implantaron muchas de las condiciones impuestas por el Consejo Europeo. Sin embargo, debido a la crisis económica que sufrió nuestro país se produjo un descenso significativo en la aportación económica dentro del sector de las energías renovables, lo que incluyó las marinas.

Actualmente en España es necesario tomar medidas urgentes para poder afrontar los retos marcados. Será necesario tomar las siguientes medidas:

- Realizar una reestructuración del sector energético marino de manera definida y coordinada
- Dar una mayor incentivación de los mercados con apoyo a la inversión para reducir el riesgo de los inversores
- Regular las tarifas para una atractiva financiación de los proyectos
- Planificar las infraestructuras de la red eléctrica
- Concienciar de los impactos positivos para frenar el cambio climático

Se necesita comprender las complejas barreras para que se produzca el despegue esperado de la tecnología oceánica y que los países trabajen juntos para crear las condiciones propicias para liberar todo su potencial.

Es fundamental dar los pasos correctos hoy para poder asegurar que la energía del océano contribuya al futuro de la energía sostenible al que se aspira.

5. RECURSOS ENERGÉTICOS MARINOS EN LA COSTA ESPAÑOLA

España posee un importante potencial energético marino, contando con más de 7.800 kilómetros de costa. Por esta razón, se ha llevado a cabo en los últimos años la instalación de centros tecnológicos junto con plantas de demostración cuyo objetivo se centra en la investigación y desarrollo de proyectos, siendo clave para que estos puedan alcanzar una fase comercial.

En los últimos años se han propuesto diferentes tipos de proyectos dentro del sector energético marino, pero no están teniendo ni la consideración ni los medios adecuados para alcanzar un mayor grado de desarrollo.

El sector de la energía undimotriz es la que cuenta con un mayor grado de evolución en España. Dispone de la instalación de algunos prototipos colocados en diferentes

zonas de la costa, además de diferentes centros encargados del desarrollo e investigación tecnológica. A pesar de ello, la energía undimotriz junto con el resto desempeña un papel muy pobre tanto en desarrollo, investigación y explotación de energías renovables marinas.

Para conocer el recurso marino en la costa española se ha realizado un análisis en profundidad que permite analizar el potencial de cada una de las fuentes de energías marinas a lo largo de la costa española.

En primer lugar se ha dividido el territorio español en una serie de zonas (figura 1), permitiendo así poder realizar un estudio en profundidad que permita conocer el potencial energético para cada una de ellas. A continuación, se muestra el resultado final de tal división:

Las zonas (figura 1) son:

- Costa Cantabria (Zona I)
- Costa Gallega (Zona II)
- Costa Atlántica sur (Zona III)
- Costa Islas Canarias (Zona IV)
- Costa Mediterránea sur (Zona V)
- Costa Mediterránea norte (Zona VI)

Se dispondrán, de manera resumida, los detalles que se han tenido en cuenta para poder analizar cada una de las fuentes energéticas marinas.

Energía eólica

Para analizar el potencial eólico en las costas españolas se ha realizado un estudio de los mapas de velocidades en cada una de las zonas en las que se ha dividido el litoral español. Los mapas de velocidades han sido obtenidos por el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) cuyo ámbito de estudio abarca una banda de litoral de 24 millas náuticas (45 km).

Asigna como referencia las velocidades medias anuales a una altura de 80 metros sobre el nivel del mar, siendo esta la altura de buje estimada para un aerogenerador marino

(IDAE, 2011). Se ha estudiado las velocidades del viento para diferentes calados (20 m, 50 m, 100 m) en cada una de las zonas de estudio indicadas, además de conocer los diferentes proyectos existentes para cada zona de estudio.

Se considerarán zonas óptimas aquellas que posean una velocidad media anual superior a 6 m/s, a una altura de 80 metros sobre el nivel del mar.

Energía undimotriz

Para analizar el potencial de las energías de las olas en el litoral español se ha llevado a cabo un estudio de los mapas de potencia de cada una de las zonas en las que se ha dividido la costa española.

Se ha empleado el atlas del oleaje de IH. Cantabria para tener una visión global de las potencias medias anuales a lo largo del litoral español. Para el estudio de cada zona de la costa española se ha utilizado los mapas anuales de mallas de IDAE, ya que permiten obtener con mejor detalle las características del recurso tanto a nivel de potencia como a nivel direccional.

Se ha estudiado el recurso de energía undimotriz para profundidades de 20 metros, 50 metros, 100 metros y para profundidades indefinidas. El valor de este recurso va a depender de la profundidad en la que se encuentren la instalación, se aconseja que los valores mínimos se sitúen en torno a 10 kW/m.

Energía mareomotriz

Para analizar el recurso de la energía mareomotriz a lo largo de las costas españolas, se ha realizado un estudio de los datos de mareas correspondientes a la red de mareógrafos del litoral español. Los mareógrafos componen toda la red integrada española, situados en los diferentes puertos del país. Los mareógrafos de REDMAR (Red de Mareas de Puertos del Estado) están referidos en general al cero del puerto.

El régimen de mareas a lo largo de la costa española es muy variado, por lo tanto, no se puede realizar el mismo estudio

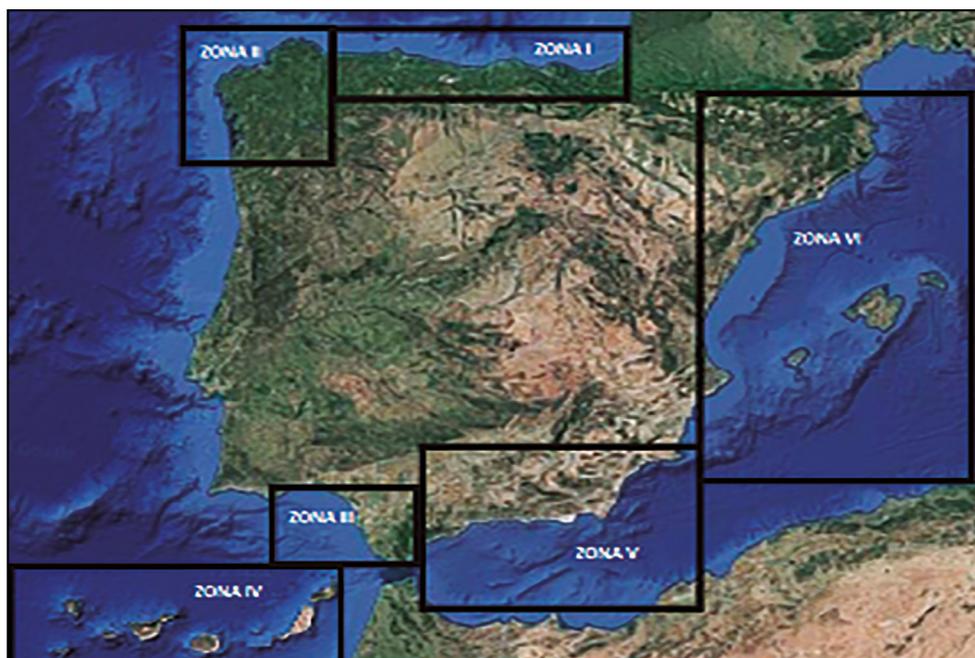


Figura 1. División por zonas del litoral español (Fuente: elaboración propia).

para cada una de las series de REDMAR. Para que el aprovechamiento de este recurso sea lo más viable posible es necesario que se proporcione una diferencia de nivel entre la pleamar y la bajamar de al menos 5 metros y que exista una bahía apropiada para la recogida y almacenamiento del agua en las pleamares.

Energía de las corrientes marinas

Para analizar el recurso de la energía de las corrientes marinas a lo largo de las costas españolas, se ha realizado un estudio de los valores obtenidos en cada una de las boyas que Puertos del Estado tiene instaladas a lo largo del litoral español. Dicho estudio incluye las velocidades máximas y medias promedio de los últimos 10 años.

Para que el aprovechamiento de este recurso sea lo más viable posible es necesario que la velocidad de las corrientes marinas deba ser superior a 2 m/s, para que su aprovechamiento sea rentable.

Energía térmica marina

Para analizar el recurso de la energía térmica marina a lo largo de las costas españolas, se ha realizado un estudio de los valores en cada una de las boyas que Puertos del Estado tiene instaladas a lo largo del litoral español. Dicho estudio incluye los valores de temperatura máxima, mínima y medias promedio de los últimos 10 años.

Hay que tener en cuenta que, para que el aprovechamiento de la energía térmica marina sea viable hay que buscar zonas con una temperatura promedio de 25-30 grados, junto con una temperatura mínima en superficie de 24 grados.

Energía osmótica

Para el análisis del recurso de la energía osmótica a lo largo de las costas españolas, se ha realizado un estudio de los valores obtenidos en cada una de las boyas que Puertos

del Estado tiene instaladas a lo largo del litoral español. Se ha establecido para cada una de ellas los valores de grado de salinidad máxima y media promedio de los últimos 10 años.

Hay que tener en cuenta que, para que el aprovechamiento de la energía osmótica sea posible es necesario que las instalaciones se ubiquen en las desembocaduras de los ríos para que se produzca esa diferencia de salinidad y obtener una fuente de energía. No existe un valor de concentración salina que defina si una zona es apta o no. Prevalecerán aquellas zonas que tengan un mayor potencial energético.

Biomasa marina

En cuanto al recurso procedente de la biomasa marina se encuentra muy limitado en España, en concreto en la zona norte correspondiente a la costa cántabra y gallega debido a que las laminarias son un género de aguas frías.

Energía geotérmica marina

En cuanto al recurso geotérmico marino, España no tiene las condiciones para su explotación debido a que no posee ventilaciones hidrotermales submarinas a lo largo de sus costas.

Energía solar marina

Para analizar este recurso no existe un valor mínimo que defina si una zona es apta o no. Se ha establecido para cada comunidad autónoma los valores de irradiación solar medias anuales, prevalecerán aquellas zonas en kWh/m²día que tengan un mayor potencial energético.

Atlas español de recursos energéticos marinos

Tras analizar el recurso energético marino en la costa española, ha permitido conocer qué tipo de energía (figura 2) es aprovechable para cada una de las zonas en las que se ha dividido el litoral español.

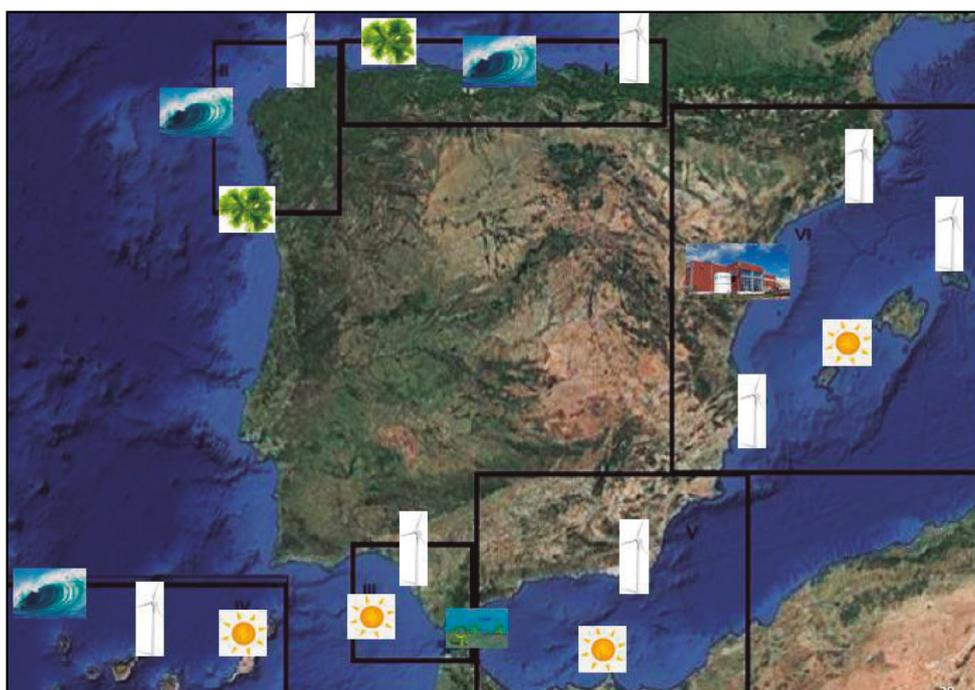


Figura 2. Representación energética en la costa española (Fuente: elaboración propia).

La distribución energética queda reflejada:

- **Zona I:** eólica, undimotriz y biomasa
- **Zona II:** eólica, undimotriz y biomasa
- **Zona III:** eólica, corriente marina y solar
- **Zona IV:** eólica, undimotriz y solar
- **Zona V:** eólica y solar
- **Zona VI:** eólica, osmótica y solar

6. IMPLANTACIÓN DE DISPOSITIVOS ENERGÉTICOS

En España en los últimos años se ha llevado a cabo la implantación de dispositivos energéticos marinos en infraestructuras ya construidas repartidas a lo largo del litoral. Cabe destacar algunos ejemplos como el caso del dispositivo de OWC en el dique de Mutriku, los cinco aerogeneradores marinos en el dique Punta de Lucero en Bilbao y, el aerogenerador en el puerto de Arinaga en Gran Canaria.

Aunque son escasos los proyectos que se han llevado a cabo, han servido como punto de inicio para posibles futuras instalaciones.

Se ha analizado la viabilidad para la instalación de dispositivos energéticos en las infraestructuras disponibles en cada una de las zonas. Cuando se habla de infraestructuras se hace referencia a diques, espigones y plataformas oíl/gas repartidas en territorio español.

Se han descrito las infraestructuras existentes a lo largo de la costa española para una posible incorporación de dispositivos energéticos marinos. Se realizará a modo de ejemplo, un estudio detallado de algunas de las infraestructuras existentes a lo largo de la costa española. El estudio va a incorporar:

- Características de la estructura
- Características energéticas de la zona de estudio
- Sistema energético empleado
- Resumen abreviado del plan de obra a seguir.
- Análisis económico

En este trabajo se han analizado las siguientes instalaciones:

Zona 1: Orio (undimotriz), Bermeo (eólica), Gijón (eólica)

Zona 2: San Ciprián (eólica-undimotriz), Ferrol (eólica), Malpicá de Bergantiños (eólica- undimotriz)

Zona 3: Cádiz (eólica), Algeciras (eólica), Ceuta (eólica)

Zona 4: Tenerife (eólica), La Gomera (eólica), La Estaca (eólica)

Zona 5: Málaga (eólica), Motril (eólica), Cartagena (eólica)

Zona 6: Cambrils (eólica), Plataforma Casablanca (solar), Cólera (eólica)

A modo de ejemplo se va a resumir uno de los casos de estudio. El dique (figura 3) está situado en el puerto de Algeciras. Posee una longitud de 1.657 metros, componiéndose de cuatro tramos. El primero de 156 metros localizado en la dársena “La Galera” y los otros tres restantes de 1.501 metros pertenecientes a la dársena “Norte”. Se va a realizar el estudio sobre la dársena “Norte”.

Características de la estructura

Es un dique vertical de 1.501 metros de longitud con 21,40 metros de anchura coronación. Está compuesto (figura 4) por cajones de hormigón cimentados a la cota -32,50 metros. El cajón se apoya sobre una banqueta de escollera de núcleo “todo uno”. La banqueta está protegida por una doble capa de escollera (H/V=3/1), una principal de 2-4 toneladas seguida de otra capa de 100-300 kilogramos de peso.

El trasdós (H/V=3/1) se compone de una doble capa de escollera, una principal de 1-2 toneladas seguida por otra capa de 100-300 kilogramos. El espaldón está coronado a cota + 7,50 metros sobre la B.M.V.E.

Características energéticas

En lo referente a las características energéticas del emplazamiento, la velocidad de viento media (figura 5) anual a una altura de 80 m sobre el nivel del mar se sitúa entre 7,5-8,0 m/s.

Sistema energético

Atendiendo a las características energéticas y partiendo de la obra definida, se ha optado por la incorporación de aerogeneradores.



Figura 3. Dique exterior situado en el puerto de Algeciras (Fuente: elaboración propia).

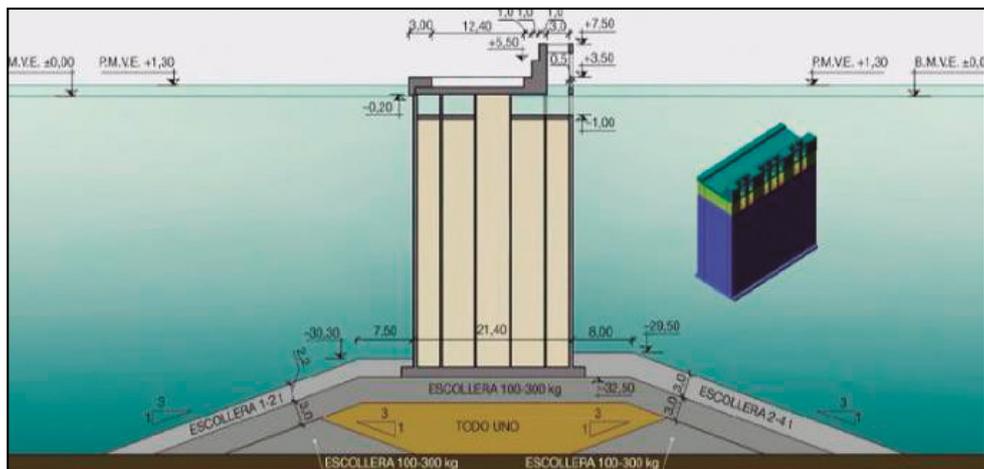


Figura 4. Sección dique vertical puerto de Algeciras (Fuente: MOPU, 1988).

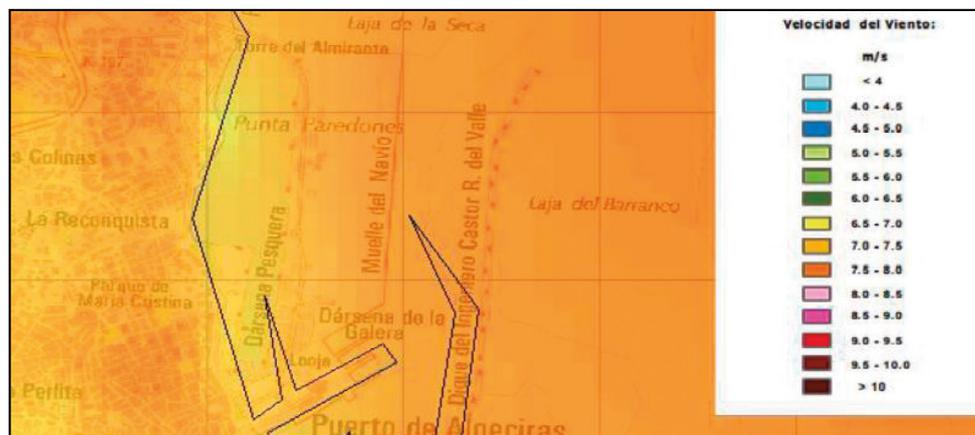


Figura 5. Velocidad media anual puerto de Algeciras (Fuente: www.atlaseolico.idae.es).

Plan de obra

Se ha establecido para cada ejemplo un plan de obra resumido indicando los puntos claves que se tendrían que realizar para cada uno de ellos, a continuación se muestra los pasos fundamentales que se ha tenido en cuenta:

- Trabajos previos
- Cimentación
- Montaje
- Ejecución de la instalación eléctrica y pavimentación

Se ha optado por la incorporación de aerogeneradores de Gamesa, 4,5 MW de potencia unitaria. Atendiendo a las características del dique, se ha optado por la instalación de 2 aerogeneradores. Se situarán a una distancia de 640 metros, ya que las buenas prácticas indican que deben estar a una distancia de 5 veces su diámetro de rotor.

Análisis económico

En referencia al análisis económico, se ha realizado una hipótesis de cálculo de lo que supondría la instalación de los dispositivos energéticos. En primer lugar, se ha tenido en cuenta las características de la planta



Figura 6. Aerogeneradores en el puerto de Algeciras (Fuente: elaboración propia).

Cálculo horas equivalentes

Coordenadas UTM(m): 281642,4003160
 Elevación (m): 0
 Rugosidad (m): 0.001 | Weibull C (m/s): 8.51 | Weibull K (m/s): 2.264

Pérdidas (%):

Velocidad (m/s)	Producción (kW)	Velocidad (m/s)	Producción (kW)	Velocidad (m/s)	Producción (kW)
1	0	11	4400	21	4000
2	0	12	4500	22	3750
3	100	13	4500	23	3500
4	300	14	4500	24	3400
5	450	15	4500	25	3250
6	750	16	4500	26	3000
7	1500	17	4500	27	2750
8	2100	18	4450	28	0
9	3000	19	4400	29	0
10	3700	20	4100	30	0

17473.196239 Producción bruta (MWh/año)
 14852.216803 Producción neta (MWh/año)

Figura 7. Cálculo producción neta anual Weibull (Fuente: elaboración propia).

Año	Mantenimiento €/año	Venta electricidad €/año	Flujo Neto €
0			-13.500.000
1	445.566	1.485.221	1.039.655
2	445.566	1.485.221	1.039.655
3	445.566	1.485.221	1.039.655
4	445.566	1.485.221	1.039.655
5	445.566	1.485.221	1.039.655
6	445.566	1.485.221	1.039.655
7	445.566	1.485.221	1.039.655
8	445.566	1.485.221	1.039.655
9	445.566	1.485.221	1.039.655
10	445.566	1.485.221	1.039.655
11	445.566	1.485.221	1.039.655
12	445.566	1.485.221	1.039.655
13	445.566	1.485.221	1.039.655
14	445.566	1.485.221	1.039.655
15	445.566	1.485.221	1.039.655
16	445.566	1.485.221	1.039.655
17	445.566	1.485.221	1.039.655
18	445.566	1.485.221	1.039.655
19	445.566	1.485.221	1.039.655
20	445.566	1.485.221	1.039.655
21	Desmantelamiento €		-135.000
	VAN	-3.319.332	

Figura 8. Balance económico (Fuente: elaboración propia).

eólica, siendo fundamental conocer su producción media anual en MWh/año. Para ello, se ha realizado el cálculo de horas equivalentes mediante la escala de Weibull (figura 7).

Con respecto a los costes, en la investigación se ha estimado el valor de los mismos atendiendo a las causas que se van a detallar a continuación. En referencia a la inversión inicial, se ha tenido en cuenta la dificultad añadida que supone la instalación de un aerogenerador sobre un dique optando por coger un valor de 1,5 M€/MW.

En cuanto a los costes de operación y mantenimiento, el entorno marino hace difícil su actividad debido a la corrosión y a las fuerzas extremas a las que van a verse sometidas. Debido a estas condiciones se ha optado por coger un valor de 0.015 €/kWh.

Con respecto al precio de venta de la electricidad, se ha escogido el valor que tiene actualmente, el cual ronda los 50 €/MWh. El conjunto de operaciones ha permitido establecer un balance económico (figura 8).

Al obtener un VAN <0 la inversión produciría pérdidas y, por lo tanto, el proyecto debe rechazarse. No se ha calculado la TIR, ya que al obtener un valor negativo del VAN no tiene sentido realizar la inversión.

7. CONCLUSIONES

Como conclusiones, se destacarían las que siguen:

1º Tras analizar el recurso energético en referencia a las costas españolas, cabe destacar que España posee buenas aptitudes para el aprovechamiento energético marino.

2º Actualmente la capacidad energética marina instalada representa un porcentaje muy pequeño. Será necesaria una mayor consolidación del sector, que permita poder aumentar su capacidad energética, pudiendo competir con las demás fuentes energéticas.

3º Uno de los principales problemas a los que se enfrenta este sector son los elevados costes de inversión iniciales, así como los elevados costes de operación y mantenimiento, que generan una incertidumbre y riesgos a los inversores. Además, destacar que en España no hay un marco legislativo claro.

4º Existen multitud de infraestructuras tales como diques, espigones y plataformas oíl/gas donde es posible la instalación de dispositivos energéticos marinos.

5º Se han analizado 18 instalaciones, de las cuales en 16 se ha estudiado una instalación eólica, en 3 una undimotriz y en 1 una solar.

6º Tras realizar un análisis económico básico en los diferentes casos de estudio, se ha comprobado que actualmente no es viable económicamente la instalación de

dispositivos energéticos. Sería necesario una ayuda económica en forma de prima de referencia para que los proyectos fueran rentables.

8. FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

Al centrarse en una materia con una experiencia previa escasa, se hace necesario que la información de este trabajo deba actualizarse con el tiempo para que se adapte a los nuevos conocimientos que vayan surgiendo.

Se han identificado una serie de líneas de investigación que pueden ser motivo de estudio y desarrollo en un futuro. Las futuras líneas de investigación se clasifican a continuación:

1º La mejora del conocimiento de aquellas fuentes energéticas marinas que se encuentran en una fase de estudio y desarrollo menor.

2º El perfeccionamiento de los costes que engloban a las energías marinas. A medida que se vaya produciendo un desarrollo del sector, será más fácil la elaboración de unos costes que permitan ajustarse de una manera más precisa un sector que está en constante estudio y desarrollo de nuevas tecnologías.

3º El uso de los modelos de estudio realizados para la implantación de dispositivos energéticos como la base de proyectos a realizar en un futuro.

9. REFERENCIAS

APPA (2011). *Revisión Régimen Económico Energías Renovables*. Informe propuestas.

Carbon Trust (2012). *Technology Innovation Needs Assessment (TINA) Marine Energy*. Summary Report.

EWEA (European Wind Energy Association) (2015). *The European Offshore Wind Industry – Key Trends and Statistics 2014*.

IDEA (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía) (2011). *Plan de Energías Renovables. Renovables 2011-2020. Evaluación Ambiental Estratégica*.

IEA (International Energy Agency) (2015). *Energy Technology Perspectives 2015: Mobilising Innovation to Accelerate Climate Action*.

IEA-OES (International Energy Agency – Ocean Energy Systems) (2014). *Worldwide Database for Ocean Energy*.

IRENA (International Renewable Energy Agency) (2014). *Ocean Energy: Technology Readiness, Patents, Deployment Status and Outlook*.

MOPU (Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo) (1988). *Diques de abrigo en España*. Tomos I y II.

Ocean Energy Europe (2015). *European Commission Issue Paper on Ocean Energy Industry Response*. www.puestos.es