

## ENVIRONMENTAL IMPACT OF WAVE ENERGY IN SPAIN

Corral Bobadilla, M.; Lostado Lorza, R. ; Vergara González, E. P.; Illera Cueva, M.

Universidad de la Rioja

The sea is an inexhaustible energy source that is not being exploited to its full potential. Tidal or wave energy is a clean, renewable offshore energy without CO<sub>2</sub> emissions. It consists in the use of kinetic and potential energy of waves to produce electricity. Although the wave and tidal energy industry is still under research and technological development, it is considered an emerging industry.

Spain is one of the main countries where different technologies of tidal energy are being developed. Spain in the future hopes to become a global leader in wave energy.

This article presents Spanish legislation to manage this type of project and the methodology to identify the environmental impacts of energy waves devices more developed in Spain.

**Keywords:** *Wave energy; Offshore renewable energy; Environmental impact.*

## IMPACTO AMBIENTAL DE LA ENERGÍA UNDIMOTRIZ EN ESPAÑA

El mar es una fuente de energía inagotable que hasta hoy en día no ha sido aprovechada en todo su potencial. La energía undimotriz o energía de las olas es una energía marina limpia y renovable, sin emisiones de CO<sub>2</sub>. Consiste en el aprovechamiento de la energía cinética y potencial del oleaje para la producción de electricidad. La energía undimotriz aun en fase de investigación y desarrollo tecnológico, se considera una industria emergente.

España es actualmente uno de los principales países donde se están desarrollando distintas tecnologías en este campo y aspira a convertirse en un referente y líder mundial del futuro.

En este artículo se presenta la legislación española existente para gestionar este tipo de proyectos así como la metodología para identificar los impactos ambientales de los dispositivos de energía de las olas más desarrollados en España.

**Palabras clave:** *Energía undimotriz; Energía renovable; Impacto ambiental.*

## 1. Introducción

Los océanos poseen una fuente de energía inagotable que hasta la actualidad no ha sido aprovechada en todo su potencial. El mar ocupa más de un 70% de la superficie terrestre y contiene una enorme cantidad de energía en sus diferentes formas, la cual es perfectamente aprovechable. Este potencial energético del mar se presenta, principalmente en las siguientes formas:

- La energía de las mareas debida al ascenso y descenso del nivel del agua del mar producido por las acciones gravitatorias del sol y la luna.
- La energía de las corrientes, originada por diferentes fenómenos: diferencia de densidad y contenido de sal del agua, mareas, diferencias de temperatura, evaporación y rotación de la Tierra.
- La energía del oleaje. Las olas son producidas por la acción del viento sobre la superficie del mar. Posteriormente éstas se trasladan recorriendo centenares de kilómetros.
- La energía asociada a la diferencia térmica entre las distintas profundidades de los océanos. La radiación solar sobre el mar produce diferencias de temperatura de hasta 20°C entre las aguas del fondo y las superficiales.
- La energía debida al gradiente salino. En las desembocaduras de los ríos se producen fuertes diferencias de concentración salina entre el agua de los ríos y los océanos.

De todas estas formas de energía marina, la energía del oleaje es una de las de mayor interés (Clement et al., 2002) por el elevado rendimiento potencial de su aprovechamiento, ya que se trata de un recurso de elevada disponibilidad y densidad energética a nivel mundial y también en España.

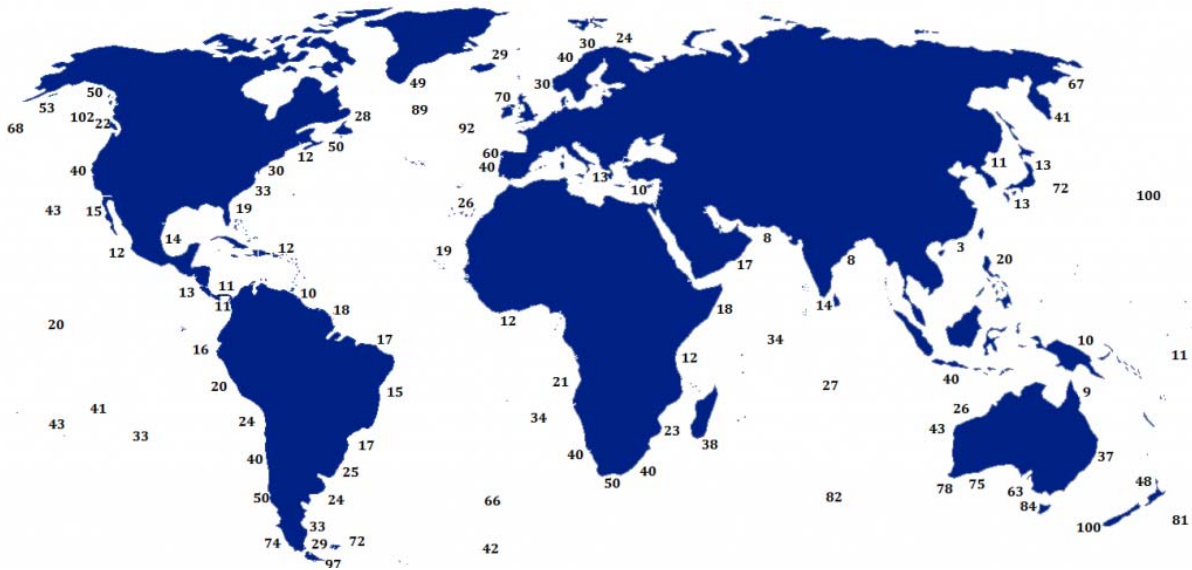
La energía de las olas o energía undimotriz es una energía marina renovable y sin emisiones de CO<sub>2</sub>. Consiste en el aprovechamiento de la energía cinética y potencial del oleaje para la producción de electricidad. La energía undimotriz se considera una industria emergente, y está aun en fase de investigación y desarrollo tecnológico. Esta energía es la forma más concentrada y menos variable de energía renovable, ya que puede ser prevista con varios días de antelación. Aún así la industria de la energía mareomotriz todavía es joven en comparación con la energía eólica marina, que ha sufrido una evolución espectacular en los últimos años impulsado principalmente por países del norte de Europa, entre los que destaca el Reino Unido, junto con Alemania y Dinamarca.

El Consejo Mundial de Energía ha estimado que alrededor de 2 TW, casi el doble de la actual producción mundial de electricidad, podría producirse a partir de los océanos a través de energía de las olas. La Figura 1 muestra los mejores lugares para desarrollar tecnologías de energía undimotriz en un formato más visual.

Se ha estimado un potencial teórico de energía oceánica superior a 100.000 TWh/año (como referencia, el consumo de electricidad en el mundo ronda los 16.000 TWh/año). Con la tecnología actual se estiman 45.000 TWh/año para la energía de las olas, 2.200 TWh/año para la procedente de las mareas, 20.000 TWh/año para las provenientes del gradiente salino y 33.000 TWh/año para la térmica oceánica (EREC, 2010).

**Figura 1: Distribución mundial media de energía de las olas en kW/m.**

[[www.wave-energy.net](http://www.wave-energy.net)]



Investigaciones acerca del potencial energético del aprovechamiento de la energía undimotriz a nivel mundial lo estiman en valores comprendidos entre 1-10 TW (aproximadamente un 10% del consumo eléctrico mundial), siendo Europa una de las localizaciones con mayor potencial de aprovechamiento (Pontes et al., 1998) (290 GW en la costa este y 30 GW en la costa mediterránea).

## 2 La energía undimotriz en España. Casos de Estudio

Las olas del mar constituyen una fuente de energía importante a nivel mundial. España es un país que tiene un gran potencial de energía undimotriz, debido a la amplia costa que posee, fundamentalmente en la costa norte, bañada por un mar con un recurso abundante, estable y previsible, factores todos ideales para la generación de energía undimotriz.

**Figura 2: Distribución europea media anual de energía de las olas en mara abierto kW/m.**

[*Seapower International*]



Actualmente España es uno de los principales países donde se están desarrollando distintas tecnologías en este campo y aspira a convertirse en un referente y líder mundial del futuro. En la costa, Galicia presenta los valores de potencial de energía más elevados, con potencias medias en profundidades indefinidas entre 40-45 kW/m, el Mar Cantábrico es en segundo lugar, la siguiente zona del litoral en cuanto a recurso, alrededor de 30 kW/m. El Mediterráneo y el golfo de Cádiz presentan valores medios anuales menores a 10 kW/m.

Diversos prototipos en energía de las olas han comenzado ya a probarse en distintas zonas del país, con el objetivo de que en unos años la fuerza del oleaje se pueda convertir en una fuente de energía renovable más. A continuación se resumen los principales proyectos en desarrollo en España:

El primer dispositivo de columna de agua oscilante que se instaló en España fue en 1994 y está ubicado en la central térmica de Sabón (La Coruña) aprovechando la instalación hidráulica del sistema de refrigeración de uno de los condensadores de la central térmica.

Actualmente existen dos plantas piloto; la primera es un parque undimotriz situado en Santoña (Cantabria) que utiliza la tecnología OPT (ver Figura 4), y la segunda, situada en Mutriku (Guipúzcoa) utiliza un sistema de columna de agua oscilante integrado en un rompeolas.

Santoña Wave Energy Project (SWEP) es un proyecto piloto de parque de olas con tecnología OPT conectado a la línea de suministro del Faro del Pescador. Formado por 10 boyas, una de ellas de hasta 40 kW y las nueve restantes de 150kW ampliables a 250 kW, que en conjunto proporcionarán una potencia de 1.35 MW. La planta está situada a una distancia de 3.6 km de la costa, con una profundidad de 50 m, y ocupará una superficie total de 2000 m<sup>2</sup>. También en Cantabria se está desarrollando el proyecto WAVEPORT, que pretende hacer frente a la falta de demostración tecnológica a escala comercial, por lo que instalarán un convertidor de energía undimotriz de gran escala (absorbedor puntual) y una subestación transformadora submarina.

En el País Vasco se encuentra la planta undimotriz de Mutriku que está instalada en el exterior del nuevo dique de abrigo del Puerto de Mutriku. El proyecto está basado en la tecnología de columna de agua oscilante, y es el primero del mundo con una configuración multiturbina. Mutriku es una planta de tecnología innovadora, que consta de 16 turbinas con una potencia total de 296 kW capaces de producir 970 MWh al año.

Además de las plantas piloto ya existentes, actualmente se han iniciado los primeros trabajos previos a las obras de instalación del proyecto BMEP (Biscay Marine Energy Platform), que es una infraestructura marina para la investigación, demostración y explotación de sistemas de captación de energía de las olas en mar abierto. La infraestructura del BIMEP se trata de un campo de pruebas acotado en mar abierto con todos los elementos necesarios para poder unir los captadores de energía de las olas que están desarrollando diferentes empresas de todo el mundo. Está ubicada en un área de 4x2 km en la zona de Arminitza-Lemoiz (Vizcaya). Cuenta con 20 W de potencia total, varios puntos de conexión para dispositivos: 4 amarres de 5 MW y 13 kV, un centro de investigación asociado, subestación, amarres y cable submarino hasta la costa.

En Cataluña, en la costa de Gerona se está desarrollando un sistema de generación undimotriz con tecnología española. Así mismo en Asturias existe también un proyecto innovador en desarrollo, el proyecto Calma, para el desarrollo de un parque de generación eléctrica de 50 MW a través de la energía undimotriz compuesto por varias plataformas que generan energía eléctrica al crear una diferencia de potencial entre el cuerpo sumergido

inmóvil y el flotador accionado por las olas. Actualmente en las Islas Canarias se están instalando varios proyectos en el banco de ensayos de la Plataforma Oceánica de Canarias (PLOCAN), dirigidos a la mejora de las tecnologías y la búsqueda de nuevas aplicaciones.

Aún así este sector se encuentra en España en una fase inicial de desarrollo tecnológico, aunque estas instalaciones permiten pensar en un importante futuro en este campo. La evolución actual se basa en proyectos de innovación, que corren a cargo de pequeñas y medianas empresas en cooperación con universidades, pero según las previsiones nacionales, la energía undimotriz, comparada con otras fuentes tradicionales, podría ser comercialmente competitiva en 2026. Uno de los objetivos del Plan Nacional de Energías Renovables 2011-2020 es alcanzar una potencia total instalada de 100 MW (producción de 220 GWh) en 2020.

## **2.1 Evolución tecnológica**

La tecnología para el aprovechamiento de la energía de las olas se encuentra en fase de investigación y, todavía es necesario un desarrollo para que llegue a ser competitiva.

En la actualidad existen muchos dispositivos que se están desarrollando para lograr una tecnología capaz de extraer la energía de las olas y demostrar tanto la funcionalidad de los dispositivos a corto plazo como su fiabilidad a largo plazo (PER, 2011)

Las olas del mar se originan a partir del rozamiento del viento sobre la superficie del mar. El oleaje actúa como un acumulador de energía en el sentido en que es capaz de recibir energía, transportarla de un lugar a otro y almacenarla

Actualmente, se están desarrollando distintos tipos de prototipos para el aprovechamiento de la energía undimotriz, que se pueden clasificar en función de varios criterios, según:

- Su posición relativa a la costa.
- Su posición relativa a la dirección del oleaje.
- El principio de funcionamiento y de captación de energía.
- El uso de la energía obtenida.
- La potencia de salida.
- El tamaño y capacidad de la instalación.
- El grado de desarrollo (en investigación, a escala...), etc.

## **2.2 Clasificación de los sistemas de conversión**

Aunque hemos visto que existen numerosos criterios de clasificación de la energía de las olas, a continuación vamos a clasificar los dispositivos de la energía undimotriz atendiendo a tres de los factores más importantes.

### **2.2.1 Según su posición relativa a la costa**

Si atendemos a los criterios de posición, pueden estar situados en la costa (onshore), cerca del litoral (nearshore) o en alta mar (offshore).

### **2.2.2 Según su posición relativa a la dirección del oleaje**

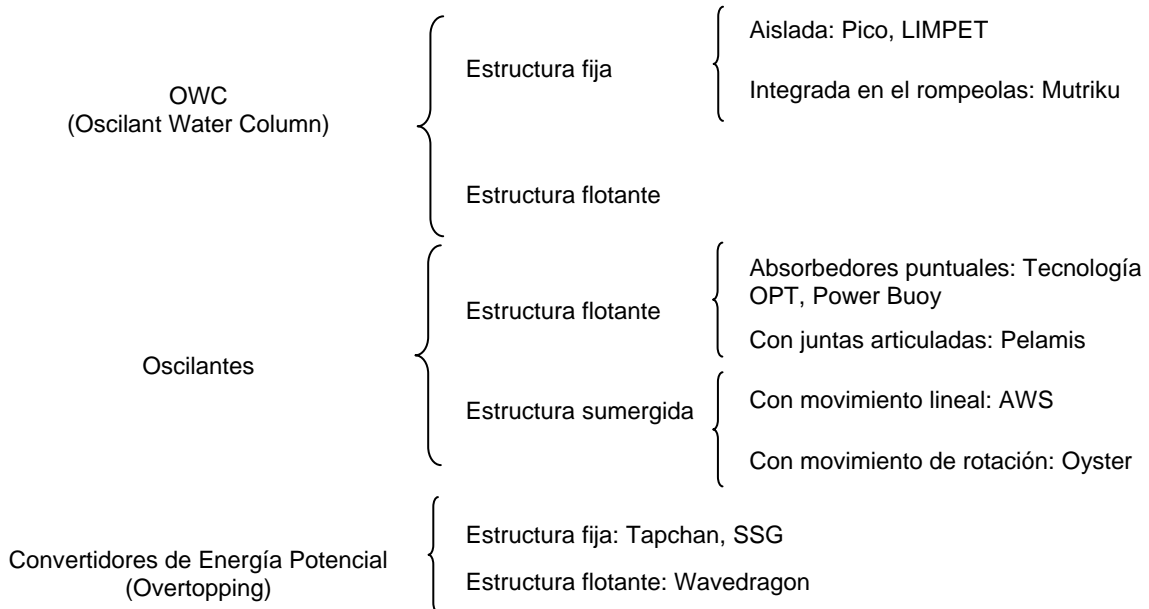
- Totalizadores o terminadores: Se colocan perpendiculares a la dirección de avance de las olas.

- **Atenuadores:** Se colocan paralelos a la dirección de avance de las olas, y son estructuras largas que van extrayendo energía de modo progresivo; están menos expuestos a daños y requieren menores esfuerzos de anclaje que los terminadores, pues las fuerzas se compensan a ambos lados de la estructura, siendo capaces de captar energía por ambos lados de la misma. Su principal característica es que atenúan, no eliminan, la ola incidente.
- **Absorbedores puntuales:** Son estructuras de tamaño reducido en comparación al oleaje incidente. Generalmente se colocan varios dispositivos agrupados siguiendo una línea. Concentran el oleaje en un punto (Figura 4).

### 2.2.3 Según el principio de funcionamiento y de captación de energía

La clasificación realizada por Falcão (2011), de las diferentes tecnologías utilizadas para la energía de las olas según su principio de funcionamiento, así como los convertidores más importantes que utilizan dichas tecnologías se presentan en el siguiente esquema.

**Figura 3: Tecnologías para extraer energía de las olas.**



Los dispositivos **OWC** están basados en el principio de funcionamiento de una columna de agua oscilante que consiste en una estructura hueca, semisumergida y abierta al mar por debajo de la superficie libre del agua. Debido a la oscilación del oleaje, se producen cambios en la presión del aire que está situado sobre el agua, en el interior de la cámara. Esto hace que el fluido de trabajo se expanda y se comprima de forma alternativa y que produzca el movimiento de la turbina.

Los dispositivos **oscilantes** convierten, a través de un sistema hidráulico o mecánico, un movimiento de oscilación vertical y/o de rotación en un movimiento lineal o rotativo para alimentar un generador eléctrico. Como se observa en la Figura 3, existen dos tipos; los dispositivos flotantes y los dispositivos sumergidos. Los primeros se clasifican en absorbentes puntuales (Figura 4) y con juntas articuladas, y, los segundos, en convertidores que trabajan con movimiento lineal o con movimiento de rotación.

**Figura 4: Dispositivo oscilante, tipo absorbedor puntual. (Santoña, Cantabria)**



El principio de funcionamiento de los dispositivos **convertidores de energía potencial** consiste en recoger el agua de las olas incidentes para mover una o varias turbinas hidráulicas de salto reducido, y aprovechar así la energía potencial de las olas para convertirla posteriormente en energía eléctrica. Un ejemplo de este tipo de dispositivo es el Wavedragon (Figura 5) que se caracteriza por tener un reflector que dirige las olas incidentes hacia una rampa hasta un depósito situado a un nivel superior al del mar.

**Figura 5: Dispositivo Wavedragon.**



### **2.3 Situación Legislativa**

De acuerdo con la Directiva de la UE de 1985 sobre Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) (Directiva 85/337/CE), todos los Estados miembros de la UE deben evaluar las consecuencias ambientales de cierto tipo de proyectos, incluyendo las centrales de energía, antes de obtener el permiso o la licencia de obra. Esta directiva fue adoptada bajo la creencia de que la mejor política ambiental consiste en prevenir la contaminación desde la fuente, antes que trabajar sobre las consecuencias, constituyéndose como un ejemplo del principio de precaución (Ahammed y Nixon, 2006). Después, han aparecido otras piezas legislativas que modifican o complementan la directiva mencionada anteriormente (Directiva 97/11/EC, Directiva 2003/35/EC).

La Directiva EIA exige la evaluación del impacto medio ambiental de cualquier proyecto que pueda tener efectos significativos en el medio ambiente antes de autorizar su desarrollo. Esta Directiva describe las categorías de proyecto sujetas a una EIA y el procedimiento que debe seguirse así como el contenido de la evaluación. Las categorías de proyecto se dividen

entre el Anexo I, donde se mencionan los proyectos para los cuales la EIA es obligatoria, y el Anexo II, donde se mencionan los proyectos para los cuales la EIA depende de si se producirán efectos medioambientales importantes. En el Anexo I, se incluyen una serie de proyectos energéticos pero no se habla de los desarrollos en energía de las olas y de las mareas. Estos podrían incluirse en el Anexo II como 'Industria energética: (a) Instalaciones industriales para la producción de energía eléctrica'. Para el caso de los proyectos enumerados en el Anexo II, las autoridades nacionales competentes deben decidir si hace falta una EIA a lo largo del proceso (WAVEPLAM, 2010).

Respecto a los proyectos de energía de las olas, en España actualmente de está desarrollando una norma con los criterios generales para la elaboración de Estudios de Impacto Ambiental de Proyectos de Plantas de Generación de Energía Eléctrica en el Mar (NORMA UNE 157 932).

### **3 Impacto ambiental**

Los impactos medioambientales generados por los dispositivos conversores de la energía de las olas serán similares a los generados por otros tipos de energía marina. Estos dispositivos no producen emisiones gaseosas, ni líquidas, ni sólidas, y por ello, en condiciones normales de operación, la energía de las olas es virtualmente una fuente de energía no contaminante. A pesar de ello, su desarrollo podría tener un impacto variado en el medio ambiente. Algunos efectos pueden ser beneficiosos y otros potencialmente adversos (Thorpe, 1999). Los efectos sobre el medio ambiente dependen principalmente del tipo de dispositivo utilizado y, aunque a priori su impacto potencial sobre el medio ambiente es bajo, se necesitan estudios adicionales para conocer en detalle la interacción de cada una de las tecnologías con el entorno marino.

La absorción y modificación del oleaje puede variar la morfología de la costa y de la vida marina, por ello es necesario analizar, el paisaje, la geología y la geomorfología, los valores naturales (aves, flora, fauna marina y hábitat), el patrimonio, el ruido submarino, el impacto visual y sonoro especialmente en zonas turísticas, además, también será necesario analizar la hidrodinámica marina, la interacción con otros usos del espacio marino, etc. Ya que, resulta evidente que los dispositivos para el aprovechamiento de la energía de las olas en el litoral o cerca de él pueden tener impactos considerables sobre el medio ambiente que es necesario estudiar y evaluar de cara a la comercialización de este tipo de tecnologías.

### **4 Metodología y resultados**

El propósito de este artículo es alertar de los impactos que pueden generar este tipo de dispositivos sobre el medio ambiente.

Al no haber, por el momento, ningún proyecto de energía de las olas a gran escala instalado España, el conocimiento actual sobre impactos se basa en diferentes proyectos piloto de energía undimotriz y otras formas de energía renovable, especialmente la energía eólica mar adentro, con la que comparte algunas similitudes.

A la hora de elaborar Estudios de Impacto Ambiental, la metodología seguida en la mayoría de los casos hacen referencia a dos tipos de factores: las actividades del proyecto que pueden afectar al medio ambiente, y los elementos del medio ambiente que pueden sufrir el impacto (los receptores). Estos receptores se agrupan en entorno biótico (organismos vivos), entorno físico (temperatura, calidad del agua, altura de la ola, etc.) y entorno socioeconómico



Los dispositivos de conversión de la energía undimotriz pueden generar impactos ambientales similares a otros tipos de estructuras colocadas en alta mar, en virtud de su presencia física en el agua. Entre los posibles impactos negativos pueden enumerarse los siguientes:

- Impacto visual.
- Ruido.
- Molestias y destrucción de la vida marina.
- Calidad del aire
- Erosión de la costa.
- Conflictos con la navegación.
- Interferencia con la pesca comercial y deportiva.
- Interferencia con otras actividades recreativas.

Por todo ello se hace necesario realizar un Estudio de Impacto Ambiental. Es muy importante evaluar los efectos ecológicos de las instalaciones, ya que ayudarán a reducir la incertidumbre de los efectos tanto de las actividades del proyecto que pueden afectar al medio ambiente, como de los receptores, dando lugar a mejoras para diseño de dispositivos y a la reducción o eliminación de los impactos negativos.

En este tipo de proyectos será necesario identificar los impactos tanto en la fase de construcción como en la de explotación y desmantelamiento de las instalaciones (convertidores, sistemas de amarre y cable submarino). Por este motivo, un punto de partida fundamental será la realización de un inventario de todos los componentes de la instalación, así como una descripción rigurosa de la ubicación del proyecto. Hay que añadir que cada proyecto tendrá efectos únicos en el medio ambiente, en función del diseño del dispositivo y características específicas de la localización del proyecto.

## **5 Conclusiones**

La energía de las olas es un recurso abundante y disponible; las dos terceras partes de la superficie terrestre se encuentran recubiertas por agua y el oleaje posee la propiedad de ser un acumulador de energía, pues es capaz de recibir energía, transportarla de un lugar a otro y almacenarla. Esta característica puede aportar innumerables beneficios a la sociedad, ya que la energía generada en cualquier parte del océano acaba en el borde continental, concentrándose en las costas.

Se trata de una energía renovable y limpia, sin emisiones de CO<sub>2</sub>. Además el potencial energético del mar es inmenso se calcula que la energía de las olas podría cubrir el 10% del consumo mundial eléctrico, pero todavía existe una falta de conocimiento probado sobre cómo el aprovechamiento de la energía de las olas puede afectar el medio ambiente, por ello es importante reducir las incertidumbres sobre los efectos de la tecnología sobre el medio marino. Debemos evaluar los potenciales impactos ambientales de este tipo de energía, para hacer frente a las preocupaciones. Esta información es necesaria para apoyar el proceso de aceptación de este tipo de proyectos por la administración competente, así como para tomar decisiones responsables sobre la localización idónea de las instalaciones evitando zonas protegidas o especialmente sensibles, reduciendo al mínimo los impactos ambientales.

La obligación de realizar una Evaluación de Impacto Ambiental depende de la legislación de cada país, lo que determina la forma y las oportunidades de participación en la toma de decisiones. Centrándonos en la situación particular de España, la evolución de la energía marina debe ser respaldada por la administración, puesto que no sólo gozamos de un potencial de energía de las olas enorme, acorde con la longitud de la línea de costa, sino que además la situación del sistema energético español no merece despreciar esta oportunidad, por ello para garantizar un mínimo impacto de las instalaciones hace falta seguir investigando y regular este tipo energía renovable.

## 6 Referencias

- Ahammed, A.K.M.R, Nixon, B.M (2006). Environmental impact monitoring in the EIA process of South Australia. *Environmental Impact Assessment Review*, 26, 426-447.
- Clement et al. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 6 (2002) 405–431.
- EREC. (2010). *Renewable Energy in Europe, Markets, Trends and technologies*. European Renewable Energy Council
- EVE [Ente Vasco de Energía]. Biscay Marine Energy Platform (BIMEP). *Infraestructura Singular de Investigación en Energías Marinas*, 2008.
- Falcão, A.F. de O. (2011). Wave energy utilization: A review of the technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14, 899–918.
- Plan de Energías Renovables, (2011). *Renovables 2011-2020. Evaluación Ambiental Estratégica*. IDAE. Madrid
- Pontes MT, Athanassoulis GA, Barstow S, Bertotti L, Cavaleri L, Holmes B, et al. *The European Wave Energy Resource*. 3rd EWEC, Patras, Greece, 1998.
- Thorpe, T.W. (1999). *A brief review of wave energy*. UK Department of Trade and Industry
- Waveplam (2010). *Wave energy: a guide for investors and policy makers*. Bruselas: Intelligent Energy Europe.
- [www.wave-energy.net](http://www.wave-energy.net)