



TRABAJO FIN DE GRADO

CURSO 2016-2017

Tutora: Carolina Garmendia Pedraja

DEPENDENCIA ENERGÉTICA Y ENERGÍA UNDIMOTRIZ EN ESPAÑA: El gran potencial del mar

Eduardo Suárez Quijano

15 de diciembre de 2017

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	4
2. METODOLOGÍA Y FUENTES	7
3. ¿CUÁNTA ENERGÍA NECESITAMOS?	9
3.1. EL CONSUMO ENERGÉTICO <i>PÉR CAPITA</i>	9
3.2. EL HORIZONTE DE LAS ENERGÍAS ALTERNATIVAS	11
4. LA ENERGÍA UNDIMOTRIZ Y SU APROVECHAMIENTO: DÓNDE Y CÓMO	19
4.1. LA ELECCIÓN DE LAS ZONAS DE MAYOR POTENCIAL ENERGÉTICO	19
4.2. LA ENERGÍA UNDIMOTRIZ: UNA TÉCNICA PARA CADA OLA	22
4.3. LA ENERGÍA UNDIMOTRIZ: IMPACTOS Y COSTE	26
5. LA CARRERA HACIA EL APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA DE LAS OLAS	31
5.1. HAWAII: ALTERNATIVA SOSTENIBLE A LA DEPENDENCIA ENERGÉTICA	32
5.2. LA ENERGÍA UNDIMOTRIZ EN EUROPA: CAMBIO EN LA POLÍTICA ENERGÉTICA EN GRAN BRETAÑA	34
6. LA “APUESTA” DE ESPAÑA POR LA ENERGÍA UNDIMOTRIZ	38
6.1. CANARIAS	41
6.2. EL CANTÁBRICO	42
6.2.1 Galicia	42
6.2.2 País Vasco	44
6.2.3 Cantabria	45
7. CONCLUSIONES	46
BIBLIOGRAFÍA Y FUENTES	48

RESUMEN

En un país en el que el consumo energético crece continuamente y que no dispone de recursos energéticos para satisfacer su demanda, la situación se convierte en insostenible. Se adquiere una dependencia energética con los países que suministran estos recursos, que además no son renovables, está sujeta a estrategias geopolíticas inestables. En España existe un gran potencial energético de energías renovables que no se está aprovechando. Concretamente, la energía undimotriz es la que posee un mayor potencial y apenas tiene desarrollo, a pesar de que permitiría reducir la dependencia energética, permitiría incluso exportar energía y, contribuir a un asunto de vital importancia, la reducción de las emisiones de contaminantes a la atmósfera para mitigar en la medida de los posible los efectos del cambio climático, como se ha acordado en la Cumbre contra el Cambio Climático de París.

Palabras clave: Consumo energético, dependencia energética, energía undimotriz, España.

SUMMARY

In a country where energy consumption is continuously growing and in which doesn't have energy resources to meet its demand, the situation becomes unsustainable. An energy dependence is acquired with the countries that supply these resources, which are also non-renewable, liable to unstable geopolitical strategies. In Spain there is a great potential for renewable energy that is not being used. Specifically, wave energy has the greatest potential and has hardly any development, even though it would reduce energy dependence, allow even to export energy and, to contribute to a matter of vital importance, the reduction of pollutant emissions to the atmosphere to mitigate as far as possible the effects of climate change, as agreed at the Paris Climate Change Summit.

Keywords: Energy consumption, energy dependence, wave energy, Spain.

1. INTRODUCCIÓN

La dependencia energética supone un gran problema para aquellos países que, como España, no son productores y están a merced de la volatilidad de los precios del mercado y de las coyunturas políticas y económicas de cada momento. Además, el suministro energético procede de fuentes de fósiles, recursos finitos y altamente contaminantes que generan graves impactos ambientales.

En este complejo escenario la utilización de energías renovables se presenta, por un lado, como una solución que garantiza una seguridad energética (garantía de continuidad en el suministro energético a unos precios estables y razonables). Por consiguiente, esta variable es de vital importancia en las políticas de seguridad y defensa de cada estado. Tal es así, que *La Estrategia Europea de Seguridad Energética* (2014), concibe las energías renovables exclusivamente como un instrumento que puede reducir la dependencia energética. Posteriormente, se va un poco más allá y se alude a la diversificación de fuentes, pero en general, de una manera poco clara y muy por encima. Una política de gestión de riesgos que implica el aseguramiento físico del suministro como la cobertura del riesgo de precios. Para minimizar los riesgos, se plantean estrategias para frenar una interrupción del suministro, como: la planificación de las infraestructuras, diversificación del “mix” de combustibles y tecnologías, del grado de autoabastecimiento, la diversificación geográfica de los suministros, la estabilidad política de los suministradores y la solidez de las relaciones diplomáticas. Son numerosas las ocasiones en las que algún país del este de Europa ha cortado el suministro energético a otro, provocando graves problemas a la sociedad del país afectado.

Estas situaciones se pueden ver reflejadas en la tradicional dependencia energética de combustibles fósiles (petróleo y de forma creciente el gas), que han centrado las políticas exteriores de seguridad energética, ya el principal suministrador es Oriente Medio, y tiene una inestabilidad crónica. Por ello, países como EEUU y Canadá, formen conjuntamente un área geográfica autosuficiente en petróleo antes de 2030, algo que no podrá decir España.

Por otro lado, las iniciativas existentes de políticas energéticas dirigidas a promover la seguridad energética y la sostenibilidad, frecuentemente, implican un sobrecoste para el suministro energéticamente, afectando directamente a la competitividad. En la mayoría de estados miembros de la UE, existe un marco de incentivos, en el que el sobrecoste de penetración de las energías renovables recae en el consumidor (IEEE, 2014; IEEE, 2017).

Pero también se ven afectados los derechos de emisión de CO₂. Los países muy contaminantes compran derechos para poder contaminar más a países que no consumen lo que se les es permitido, en donde los países de la UE se han comprometido a reducir sus emisiones un 20% respecto a las emisiones de 1990, y una emisión superior a la cifra fijada les obligaría a pagar 25-30€/Tm CO₂, lo que repercutirá en el precio de la energía (WEC, 2013).

En la actualidad, debido a los altos valores de emisión de CO₂, y el calentamiento global que ha generado, la sociedad, poco a poco, está siendo consciente de que se necesita un cambio en el modelo energético mundial. Algo tan necesario como complicado, por los intereses económicos de algunos países productores de energías fósiles. En los países como España, un gran dependiente energético, resulta necesario invertir en I+D+i para provocar ese cambio energético tan necesario a todas las escalas.

Dadas las necesidades energéticas que tiene España, además de una clara dependencia, resulta necesaria la búsqueda de fuentes de energías alternativas que favorezcan una disminución de la *dependencia energética* y a su vez, también garanticen una *seguridad energética*. Una de las energías que aún está por desarrollar es la marina, existiendo diferentes subtipos de energías, como la mareomotriz, de las corrientes, osmótica, y, entre otras, también la obtención de energía a través del oleaje, la cual resulta interesante porque tiene un gran potencial y que en la costa Cantábrica y Atlántica esta tan presente - pudiendo salir España beneficiada por tener una gran línea de costa-, pero un escaso desarrollo. De ahí es de donde surge la pregunta ¿Por qué no se está aprovechando la energía de olas en España? ¿Qué lo impide?

Es necesario, antes de continuar, matizar el concepto de *energía renovable*, término empleado de forma genérica en la bibliografía y fuentes consultadas para designar a todas

aquellas que se renuevan a un ritmo igual o superior a su tasa de utilización (cuando la renovación supera esta tasa, es decir, se produce a escala geológica, se denominan no renovables). No obstante, la energía undimotriz (como la del viento, la solar y oceánica), son energías perennes, no se agotan, ya que derivan del sol, por lo que sería más correcto en estos casos hablar de *energías alternativas*. Para no llevar a confusión, asumiendo el término empleado de forma genérica como *energías renovables*, en el presente documento se denominará a la *energía alternativa, energía renovable*.

Por tanto, este trabajo, tiene por objeto el estudio de la energía undimotriz, esto es, “... *la energía producida por el movimiento ondulatorio de la superficie del mar. Las olas del mar son un derivado terciario de la energía solar. El calentamiento de la superficie terrestre genera viento y el viento genera olas, por lo tanto, el oleaje es una consecuencia del rozamiento del aire sobre la superficie del mar*” (Celis, 2015).

La energía undimotriz, no ha surgido de las investigaciones que se hayan podido llevar a cabo en la búsqueda de nuevas fuentes de energía en los últimos años. Los primeros testimonios que existen sobre la utilización de la energía undimotriz se encuentran en China, concretamente en el siglo XII, cuando empiezan a operar molinos por acción del oleaje. Ya a principios de ese siglo, el francés Bouchaux-Pacei consigue suministrar electricidad a su casa de Royan, mediante un sistema neumático muy similar a las actuales columnas oscilantes capaces de obtener energía gracias al oleaje. Además, en esta misma época, también se prueban sistemas mecánicos, o en 1920, en Japón, se ensaya un motor de péndulo.

Uno de los primeros que consiguió ser un pionero en el aprovechamiento de la energía de las olas, fue Yoshida, un japonés que en 1945 pudo realizar un ensayo en el mar. A partir de 1960, desarrolla un sistema neumático que permite cargar unas baterías en las boyas de navegación, con una turbina de aire de 60W.

Una investigación del aprovechamiento de la energía de las olas a mayor escala, no se produce hasta 1974, en Reino Unido, donde se estudian complejos y modernos sistemas para grandes aprovechamientos, actividad que es abandonada por completo prácticamente en 1982 por problemas económicos. El aprovechamiento de las olas vuelve a resurgir en

Europa y Japón a mediados de los años ochenta del siglo XX. Sin embargo, a partir de los años noventa, numerosas empresas en diferentes lugares del mundo comienzan a involucrarse en el diseño y desarrollo de aparatos de aprovechamiento de la energía de las olas. Algunos ejemplos son: AquaEnergy Group (EEUU), Archimedes Wave Swing (Países Bajos), Energetech Australia (Australia), Ocean Power Delivery y Wavegen (Reino Unido)... A pesar de su gran historia, el desarrollo de energías marinas no ha comenzado por la energía undimotriz, incluso sabiéndose que tiene el mayor potencial, sino que se encuentran en fase comercial otras energías como la mareomotriz. Sin embargo, en la costa de Sotenäs, Suecia, se encuentra una de las plantas pioneras del mundo de energía undimotriz conectada a la red comercial (Fernández Díez, 2000; Chikome, 2017).

Este contexto, se plantean los objetivos del presente trabajo:

- Analizar la demanda energética y mostrar el grado de dependencia que tienen algunos países para satisfacer esas necesidades. Ello permite valorar la importancia que puede tener el desarrollo de energías renovables como la undimotriz.
- Conocer las zonas donde mayor potencial energético existe, tanto a escala global como en España así como los diversos tipos de dispositivos captadores existentes con sus diferentes técnicas.
- Estudiar el grado de desarrollo que esta tecnología presenta a diferentes escalas: global, europea, nacional e, incluso, regional.

2. METODOLOGÍA Y FUENTES

La metodología desarrollada y las fuentes consultadas en el presente trabajo han tenido en cuenta los objetivos planteados, siguiendo una coherencia entre la situación actual, una posible solución, y las actuaciones llevadas a cabo en diferentes escalas, habiendo utilizado una serie de fuentes basada en informes técnicos de carácter divulgativo por la escasez de documentos científicos, así como por no haber sido posible la facilitación de documentación por parte de organismos de prestigio en el ámbito de estudio, como el IH Cantabria.

En primer lugar, la cuestión planteada atañe a la cantidad de energía que se necesita actualmente a distintas escalas -debido a la diferencia existente entre países-, la dependencia energética que tienen algunos de ellos y como se puede paliar dicha dependencia mediante la utilización de energías renovables, aunando además la consecución de objetivos de reducción de la contaminación. Para comprobar las necesidades energéticas, se ha utilizado el indicador de *consumo energético per cápita* (obtenido en el Banco Mundial), el cual permitirá analizar el consumo promedio por habitante en diferentes países, y, en relación a la necesidad de importar energía que tenga cada país y el tipo de fuente utilizada, plantear el escenario de utilización de energías renovables y la evolución que se espera que tengan la estructura de consumo de energía, así como el papel que jugará la energía undimotriz en la estructura (utilizando el informe del IDAE). Además de analizar la evolución de la estructura de consumo de energía, se podrá esbozar el escenario que se generaría con la utilización de energías renovables, suponiendo una mitigación del cambio climático, favoreciendo el desarrollo sostenible, y posibilitando la consecución de los Objetivos de desarrollo del Milenio, planteados en el informe IPCC y por la ONU.

En segundo lugar, tras la asimilación de las necesidades energéticas que puede tener un país y la dependencia energética que puede sufrir debido a que no dispone de recursos -además asumir la necesidad de la utilización de energía renovable- se plantea como y donde obtener la energía undimotriz ya que es la que mayor potencial energético posee. Una vez desgranado como se forma una ola y la energía que puede generar, resulta interesante analizar las zonas con mayor potencial a diferentes escalas (mundial, continental y regional) (IDAE, 2011a, 2011b, 2011c y 2016; Vates, 2009; y PROEXCA, 2014).

Una vez localizadas las zonas donde se encuentra el mayor potencial de energía undimotriz, se plantea la incógnita de cómo se puede aprovechar. Para ello se han analizado diversas cuestiones. Entre ellas se encuentra el factor que se aprovechará de la ola; la clasificación de la tecnología utilizada según su ubicación en relación a la distancia con la costa; su clasificación según el principio de captación de cada dispositivo; en función del tamaño y orientación del dispositivo respecto al frente de la ola; o, en función

de su comportamiento dinámico (para obtener esta información se ha utilizado el informe IDAE, así como la fuente Celis), Además, se analizarán los costes de instalación de este tipo de dispositivos captadores de energía (IPCC, 2011; UNESCO, 2017; Rousseau, 2010; IDAE, 2011a, 2011b, 2011c y 2016; Vidal, 2008) y los impactos ambientales que supondrá su instalación (Vidal, 2017; IPCC, 2011; PROEXCA, 2014).

En el siguiente paso, se realizará una investigación sobre diferentes localizaciones de instalaciones con dispositivos captadores de energía undimotriz, tanto a escala global, europea, como nacional, para poder analizar en qué situación se encuentra España respecto al resto de países del mundo (IDAE, 2011c; Fernandez Diez, 2002; Celis, 2015; Vates, 2009). Finalmente, se realizará una valoración de todos los aspectos tratados.

3. ¿CUÁNTA ENERGÍA NECESITAMOS?

Para lograr una aproximación al escenario que plantea la utilización de las energías renovables, es preciso, entre otros aspectos, realizar una aproximación a la demanda energética a diferentes escalas, ya que existen grandes diferencias entre países desarrollados y no desarrollados; así como un análisis de la evolución de la estructura del consumo de energía primaria.

3.1. EL CONSUMO ENERGÉTICO *PÉR CAPITA*

El *consumo energético per cápita* es un factor que permite realizar una aproximación a la demanda de un país o una región en particular. Un análisis preliminar evidencia ya importantes contrastes entre los países del hemisferio norte, con un consumo energético más elevado, respecto a los del sur, un aspecto en el que desarrollo económico juega un importante papel (Figura 1).

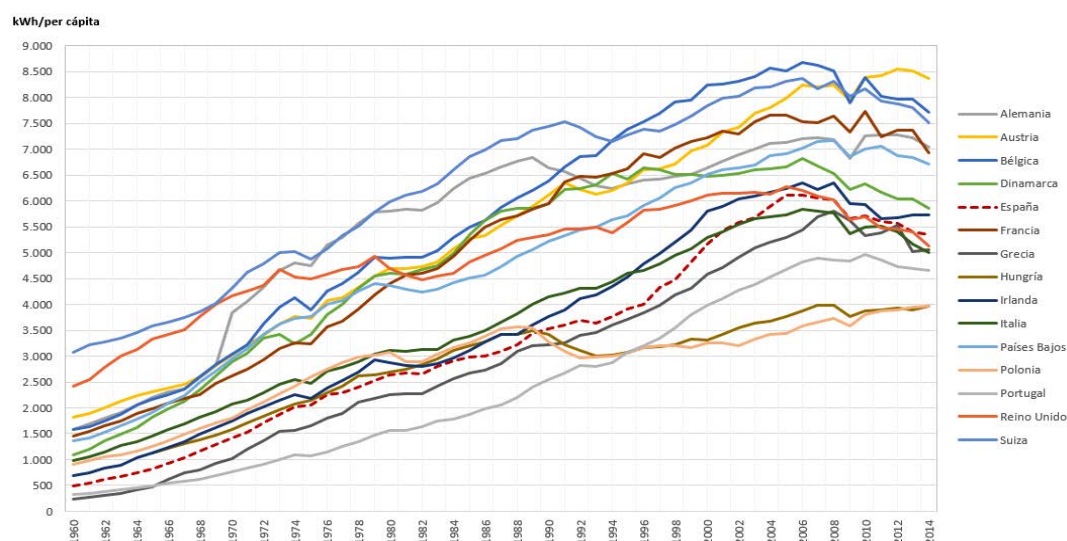
Figura 1: Mapa del consumo energético per cápita, por países (2014)



Fuente: Indexmundi, 2014

En una escala menor, concretamente en relación a los países miembros de la UE (2014), eligiendo dicha escala dada la proximidad a España, y las similitudes que puede haber en todos los aspectos -económico, social, desarrollo tecnológico...-, además de ser miembros de la UE y compartir políticas comunes. Como se observa en la evolución del consumo energético europeo (Figura 2), a raíz del crecimiento económico producido a partir de 1960, se percibe una evolución creciente en todos los países de la UE, que únicamente ha decrecido en épocas de crisis económicas posteriores.

**Figura 2: EVOLUCIÓN DEL CONSUMO ENERGÉTICO EUROPEO¹
EN PAÍSES CON TASAS INFERIORES A LOS 9.000 kWh/por cápita, 1960-2014**

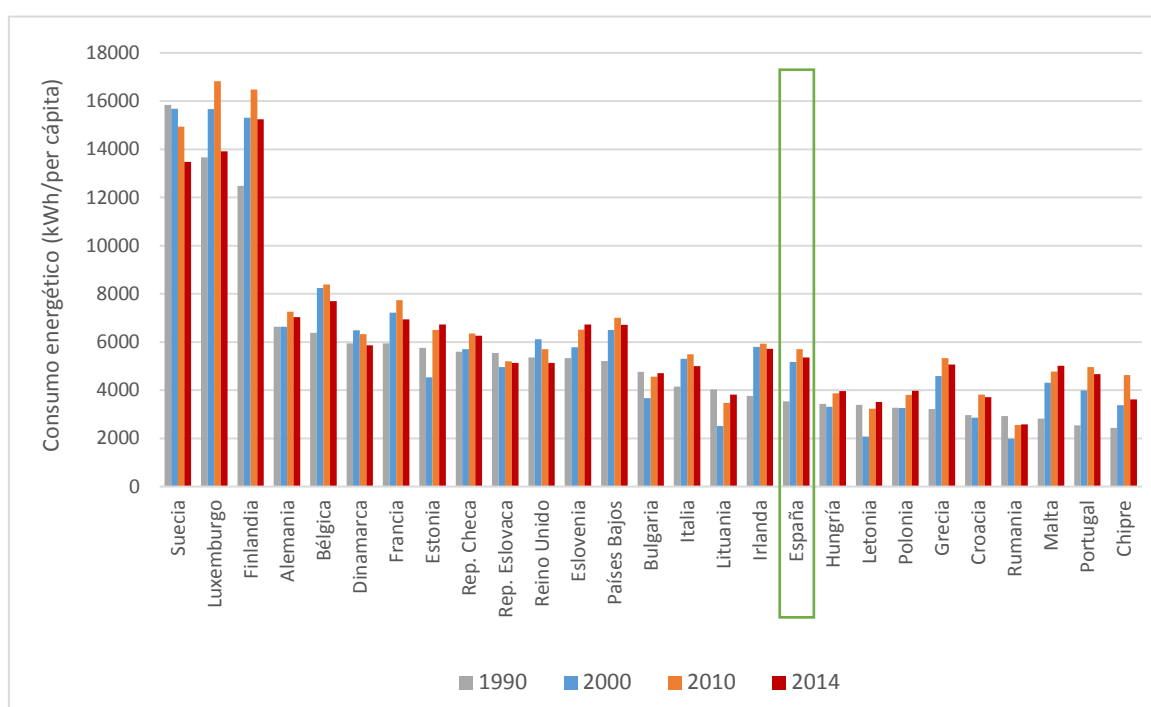


Fuente: Elaborado a partir de Banco Mundial, 2017.

¹Sólo se han considerado aquellos que presentan la serie completa.

Sin embargo, en los últimos años se observa que se ha producido un descenso en la evolución del consumo energético (Figura 3), pudiendo atribuirse esto, quizá, a los avances en eficiencia energética. La tendencia general en los países del norte de la UE es un consumo mayor respecto a los del sur y este de la UE. En el caso de España, se encuentra por debajo de la media de la UE, habiéndose producido un aumento del consumo energético per cápita progresivo de 1990 a 2000, mientras que, en 2010, a pesar de aumentar con respecto a la década anterior, la crisis económica dejó huella en este indicador. A fecha de 2014, el consumo energético per cápita ha disminuido con respecto a 2000, como en la gran mayoría de los países miembro. Esto es indicador de una reducción de la actividad industrial y de políticas de eficiencia energética promovidas por la UE (Banco Mundial, 2017).

Figura 3: CONSUMO ENERGÉTICO EN kWh/per cápita, en los países miembro de la UE (2014) para los años 1990, 2000, 2010 y 2014



Fuente: Elaborado a partir de Banco Mundial, 2017

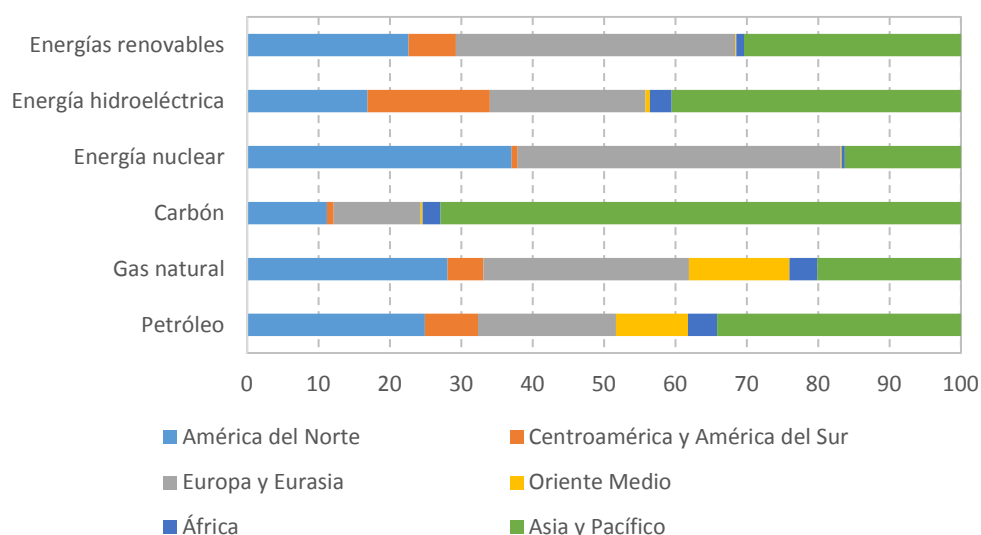
3.2. EL HORIZONTE DE LAS ENERGÍAS ALTERNATIVAS

El horizonte de las energías renovables ofrece una reducción de la contaminación y de los gases de efecto invernadero -logrando asimismo alcanzar los Objetivos del Milenio-, una

disminución de la dependencia energética, además, pudiendo llegar a hacer que un país dependiente comience también a exportar electricidad. Por ello, es de gran interés analizar el potencial energético de los océanos, la evolución y perspectivas de la oferta de energía y la composición global de la oferta mundial de energía.

Las tecnologías disponibles en cada parte del mundo, las cuales permiten el acceso a diferentes fuentes de energía también sera un factor clave en las energías que se utilicen en el lugar en cuestión. Es por ello que la distribución del consumo energético por fuentes esta muy diversificado. En las zonas más desarrolladas del mundo, las energías que se utilizan tienen una presencia relativamente equitativa en el total, por lo tanto pueden optar por una diversificación de las fuentes asegurando así el suministro eléctrico, pudiendo a su vez optar por energías eficientes y menos contaminantes. Por el contrario, en las zonas menos desarrolladas, las energías utilizadas están determinadas por factores económicos y geográfico. Se puede observar como Europa se interesa por energias como la nuclear y las energias renovables principalmente representado desde la perspectiva de la distribucion de consumo de energia primaria por tipo de fuente (Figura 4).

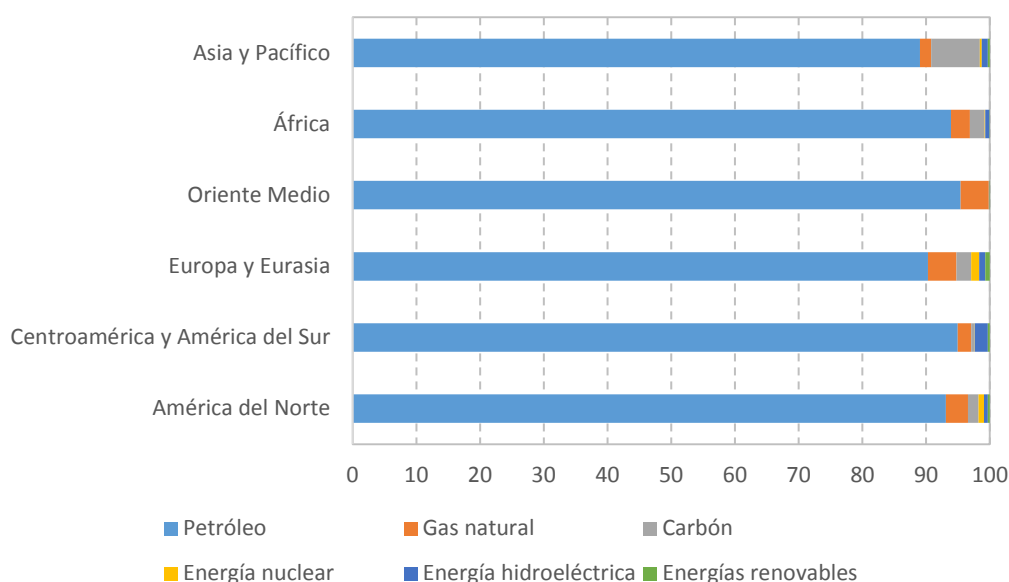
**Figura 4. DISTRIBUCIÓN DEL CONSUMO DE ENERGÍA PRIMARIA
(en %), por tipos de fuentes. Año 2015**



Fuente: Elaborado a partir de BP, 2016.

Las diferencias existentes entre las diferentes regiones, es debido a que en las zonas ricas se tiene mejor acceso a tecnologías más desarrolladas permitiendo así el suministro energético en lugares más alejados, mientras que en los países menos desarrollados, pueden ofrecer los recursos en su entorno, como es el caso de Oriente Medio que basa su consumo en el petróleo y el gas natural, y en Asia y Pacífico, donde tiene una importancia moderada el carbón (Figura 5).

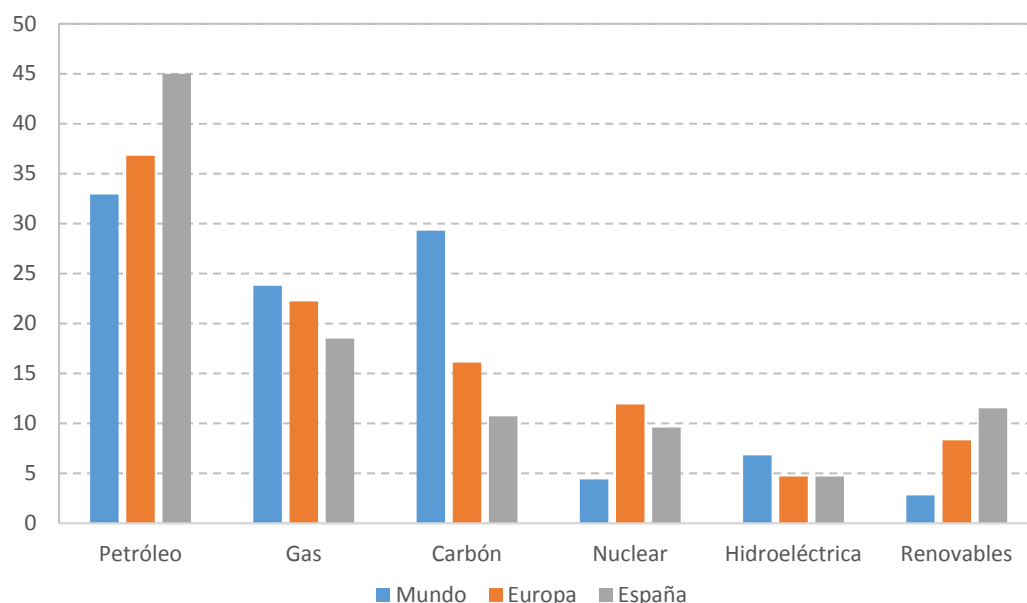
**Figura 5. DISTRIBUCIÓN DEL CONSUMO DE ENERGÍA PRIMARIA
(en %), por países. Año 2015**



Fuente: Elaborado a partir de BP, 2016.

Como se ha comentado, la dependencia energética que tiene España y, por consiguiente, su repercusión económica, al fin y al cabo, además de futuras sanciones por exceso de emisiones que estas generan, las energías renovables se presentan como una gran alternativa para España (Figura 6).

Figura 6. DISTRIBUCIÓN DEL CONSUMO DE ENERGÍA PRIMARIA EN ESPAÑA, Año 2015

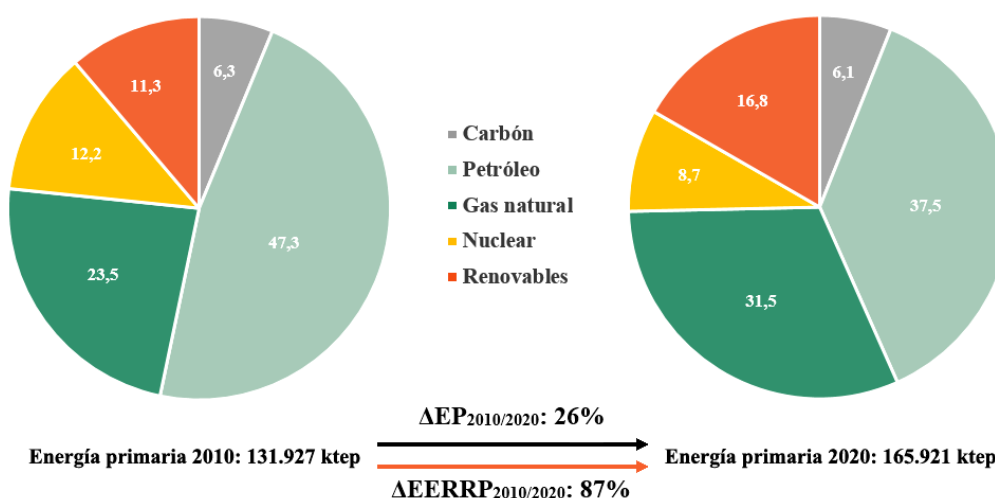


Fuente: Elaborado a partir de BP, 2016.

Las energías renovables no contaminan, no dependen del comercio internacional ya que la producción sería propia e incluso en el mejor de los casos, se podría exportar a países terceros. Tienen un pequeño inconveniente, que sería que estas tecnologías se encuentran en unas fases de desarrollo, que, aunque algunas de ellas llevan unos años en funcionamiento, no gozan de un gran desarrollo, y además su costo aún es muy elevado como para implantarlo de manera generalizada. Sin embargo, este inconveniente, se va subsanando a medida que el avance tecnológico permite abaratar los costes en la implementación de estos.

No en vano, las energías renovables ya se ven como el futuro y en España se ha iniciado, aunque muy lentamente, el camino hacia un cambio energético. En el siguiente gráfico (Figura 7) se puede ver como el consumo de energías primarias de renovables presenta un aumento en la proyección de evolución para el año 2020.

Figura 7. EVOLUCIÓN DE LA ESTRUCTURA DEL CONSUMO DE ENERGÍA PRIMARIA, por tipos de fuentes. Año 2011



Fuente: Elaborado a partir de IDAE, 2011c

Dentro de las energías renovables, el potencial mundial de producción anual estimado de energía eléctrica procedente de la energía marina es de 120.000 TWh/año. Dentro de esta potencial producción anual, la Agencia Internacional de la Energía se puede desglosar en la siguiente clasificación (Figura 8) (IDAE, 2011c):

Figura 8. CLASIFICACIÓN Y CUANTIFICACIÓN DEL APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA DEL MAR, por tipo de energía. Año 2006



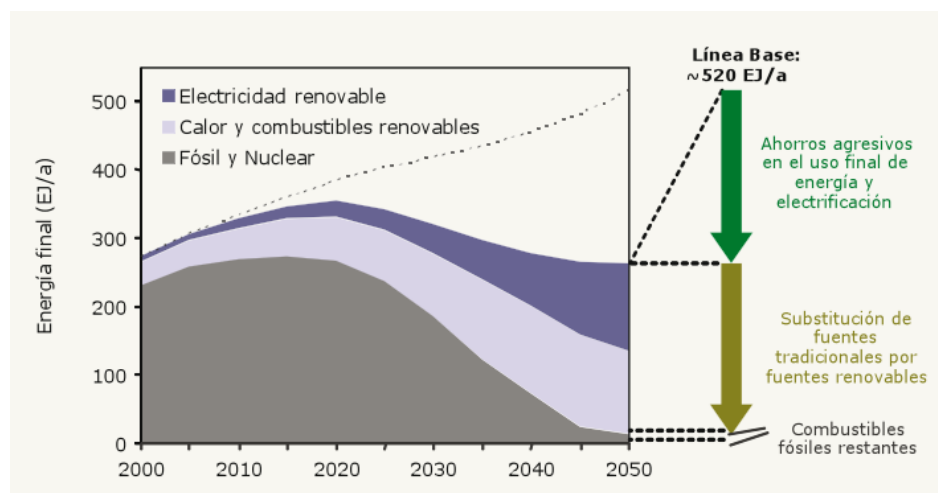
Fuente: Elaborado a partir de IDAE, 2011c.

Vistos las cifras del potencial arrojado por el IDAE, al compararlo con otras fuentes, se pueden observar que las cifras varían dado que está en una fase incipiente, no habiendo una cifra generalizada. Por tanto, se plantea algo incierto el potencial que podrían desarrollar. Véase el caso estimado con un potencial teórico de energía oceánica superior a 100.000 TWh/año (situándose el consumo de energía eléctrica mundial en 16.000

TWh/año). Se estima, con la tecnología a fecha 2010, que el potencial es de 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 (Amundarain, 2012).

Según estas cifras, se puede comprobar que aun teniendo un grandísimo potencial, siendo la undimotriz la que mayor potencial tiene, su aprovechamiento aún está en una etapa relativamente temprana de desarrollo tecnológico en comparación con otras fuentes de energía renovables, lo que unido a las características del mar, hace que en el aprovechamiento de esta fuente de energía no se haya impuesto una tecnología en concreto y haya una gran variedad de dispositivos en diversos grados de desarrollo, los cuales tendrán que arrojar su viabilidad en los próximos años dadas las previsiones que se estiman en la evolución de la oferta de energía (Figura 9). La energía fósil y nuclear prestará una oferta, que a partir del año 2020 se reducirá drásticamente -pasando de representar en torno a 250 EJ/a a casi desaparecer- para el escenario 2050, en favor de un aumento de la energía de calor y combustibles renovables (aprox. 150 EJ/a) y un claro aumento de la oferta de electricidad renovable, suponiendo en torno a 100 EJ/a. Cabe destacar que, si la tendencia de aumento de la oferta de energía final continuase en ascenso, lo previsto para 2050 sería tan solo la mitad, pero se prevé una serie de ahorros agresivos en el uso final de energía y electrificación, haciendo que la cifra de energía se equiparase a la del año 2000.

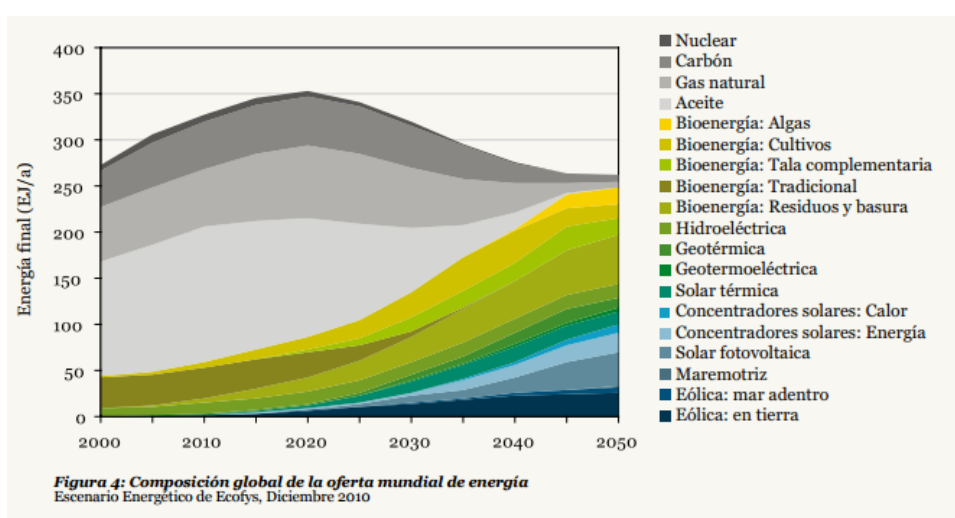
Figura 9. EVOLUCIÓN Y PERSPECTIVAS DE LA OFERTA DE ENERGÍA, 2000 – 2050



Fuente: ECOFYS

Dentro de la oferta mundial de energía mencionada en el gráfico anterior, a continuación, se puede ver un desglose (Figura 10) de esta, detallando los tipos de energía. Se observa que el potencial del mar no tiene una relevancia correspondiente a su potencial, estando representado únicamente por la energía mareomotriz, y no apareciendo en ningún momento la energía marina que mayor potencial tiene, la energía undimotriz -como es habitual en gran parte de los informes relativos a las energías renovables (IDAE, 2011c).

Figura 10. COMPOSICIÓN GLOBAL DE LA OFERTA MUNDIAL DE ENERGÍA (2000 – 2050)



Fuente: IDAE, 2011c

Históricamente, ha habido una estrecha correlación entre el desarrollo económico de un país y su mayor consumo de energía, y, por ende, un aumento de las emisiones de GEI (Gases de Efecto Invernadero). Las energías renovables -entre ellas la undimotriz- pueden ser un gran aliado para romper dicha correlación, favoreciendo un desarrollo sostenible, ya que ofrecen una oportunidad de contribuir al desarrollo social y económico, reducir los impactos medioambientales y sanitarios negativos, así como mitigar el cambio climático y poder alcanzar el objetivo de mantener el aumento de la temperatura media mundial por debajo de los 2°C, que las emisiones globales alcancen su nivel máximo cuanto antes, y poder aplicar después rápidas reducciones basadas en los mejores criterios científicos disponibles (IPCC, 2011; MAPAMA, 2015).

La posibilidad de acceder a unos servicios de energía modernos ayudaría a la consecución de los Objetivos de desarrollo del Milenio (IPCC, 2011: 18; ONU, 2015). Las energías renovables:

- Contribuyen al desarrollo social y económico al economizar costos al no ser necesario importar de otros lugares. Pueden llegar a ser competitivas a pequeña escala e incluso, pueden ser generadoras de empleo, aunque los estudios difieren en el volumen que generarían.
- Aumentan el acceso a la energía, en particular, para los 1.300 millones de personas utilizan biomasa tradicional y para los 1.400 millones que no tienen acceso a la electricidad. Es posible una mejora del acceso mediante redes descentralizadas de energía renovable, y su posterior incorporación a la red centralizada. Además de electricidad, las renovables pueden generar oportunidades de otro tipo -calentar agua, secar cultivos, biocombustibles, refrigeración, bombeo de agua-.
- Favorecen un suministro de energía más seguro y su implantación podría atenuar la vulnerabilidad a las alteraciones del suministro y a la volatilidad de los mercados si aumenta la competencia y se diversifican las fuentes de energía.
- Las emisiones de GEI resultantes de la producción de electricidad son menores que las ocasionadas por combustibles fósiles: los valores medianos para el conjunto de energías renovables están situados entre 4 y 46 g. de CO₂ eq/kWh, mientras que, en los combustibles de origen fósil, entre 469 y 1.011 g. de CO₂ eq/kWh.
- Junto a la disminución de emisiones de GEI, puede aportar otros beneficios medioambientales de gran calado, los cuales dependerán de un aprovechamiento óptimo gracias a la tecnología aplicada, las características de emplazamiento para cada tipo de energía renovable.
- Las condiciones específicas para cada lugar determinarán en qué medida afectan a la biodiversidad las tecnologías de la energía renovable. Los impactos específicos de las energías renovables en la biodiversidad pueden ser positivos o negativos.
- Las tecnologías de la energía renovable conllevan bajas tasas de letalidad. Los daños que pueden ocasionar, por encontrarse descentralizados habitualmente, limita los posibles desastres de víctimas mortales.

4. LA ENERGÍA UNDIMOTRIZ Y SU APROVECHAMIENTO: DÓNDE Y CÓMO

Dentro de las energías oceánicas, la energía undimotriz es la que más potencial tiene. Sin embargo, este potencial no es igual en todas las costas del mundo. Es necesario elegir las zonas con mayor potencial para poder aprovechar este recurso al máximo. Además, elegir una zona con gran potencial de energía del oleaje no es el único factor a analizar, ya que existen varios factores de aprovechamiento de las olas, así como varias clasificaciones de los convertidores de energía. Sin embargo, la elección de la zona y la técnica para el aprovechamiento está estrechamente unida al coste que tiene su desarrollo y al impacto ambiental que puede ocasionar.

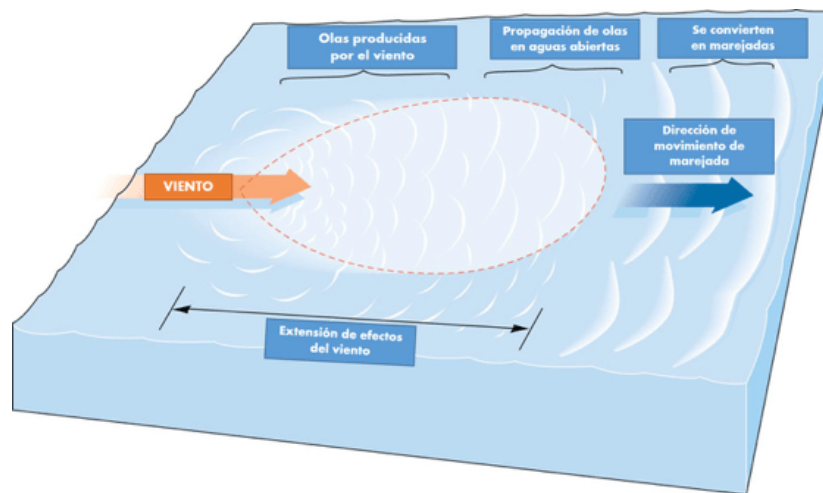
4.1. LA ELECCIÓN DE LAS ZONAS DE MAYOR POTENCIAL ENERGÉTICO

Las energías marinas tienen gran potencial debido a que son una fuente de energía infinita, mientras que las energías que actualmente tienen más uso (nuclear, petróleo...) sí que son finitas. Los mares y los océanos constituyen el mayor colector solar y el sistema de almacenamiento de energía más grande que hay en el mundo, por ello supone este gran potencial. Es por ello que, con diferentes tecnologías, dicho potencial puede hacerse realidad con la transformación en electricidad y contribuir a satisfacer las necesidades energéticas existentes.

Las olas se producen a consecuencia de la radiación solar que incide sobre la superficie de la tierra, ya que una fracción de ella se invierte en un calentamiento desigual, provocando en la atmosfera zonas de altas y de bajas presiones y, por consiguiente, generando desplazamientos de aire (viento) de diferentes intensidades. Estos movimientos de aire, en contacto con la superficie del mar generarán, en primer lugar, ondas capilares; y, en segundo lugar, cuando el efecto de la fricción se intensifica provocando olas de gravedad. Cuanto mayor sea la altura de una ola, mayor será la cantidad de energía que puedan extraer del viento, generando una realimentación positiva, ocasionando una gran acumulación de energía en las aguas oceánicas.

Su propagación está determinada por: la velocidad del viento, durante cuánto tiempo sopla el viento, la distancia recorrida por el oleaje (Figura 11). Una mayor duración del oleaje supone un aumento de su período (duración que separa la ola precedente de la anterior) y, en consecuencia, de su energía. Este oleaje formará olas grandes y potentes, de períodos largos (entre 15 y 20 segundos), que durarán más tiempo. Por otro lado, cuanto menor sea la distancia recorrida por el oleaje, menos potentes serán las olas, con períodos cortos (entre 8 y 12 segundos), disipándose más rápidamente. Además, cuanto más se acerca el oleaje de la costa, más se elevan los fondos marinos. Luego esto incide en la intensidad del oleaje, que va aumentando cada vez más hasta acabar rompiendo.

Figura 11. FORMACIÓN Y PROPAGACIÓN DEL OLAJE



Fuente: EcoExploratorio, 2017.

La energía de las olas se localiza principalmente en las costas y, además, las olas son capaces de desplazarse grandes distancias sin perder apenas esta energía (PROEXCA, 2014).

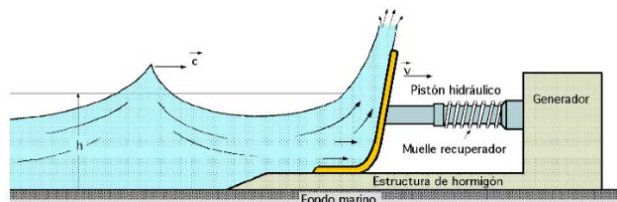
En definitiva, es una energía que es constante y con un impacto en el entorno menor que el que produce otro tipo de instalaciones. Según varios estudios que tenían por objeto estimar el potencial del oleaje a nivel mundial, se cree que la energía mundial explotable es de 2TWh/año y que las aguas europeas son capaces de cubrir más del 50% del consumo total de potencia en el continente.

4.2. LA ENERGÍA UNDIMOTRIZ: UNA TÉCNICA PARA CADA OLA

Los dispositivos tecnológicos que se están desarrollando para la captación o convertidores, deben absorber la energía mecánica de las olas de una manera que es aleatoria, debido a que las olas varían continuamente, y posteriormente poder convertirla en energía eléctrica. Existen tres factores a aprovechar producidos por la ola (IDAE, 2011c):

- *Empuje de la ola:* en las aguas poco profundas, la energía que produce el empuje de la ola (Figura 13) se puede absorber mediante un obstáculo que transmite la energía a un pistón, dado que la velocidad horizontal de las olas no varía con la profundidad. Se trata de un sistema poco usado.

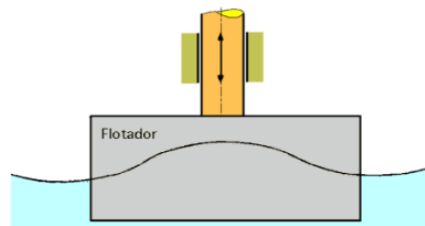
Figura 13. SISTEMA APLICADO AL EMPUJE DE LA OLA



Fuente: Fernández Díez, 2002

- *Variación de la altura de la superficie de la ola:* se obtiene situando unas estructuras flotantes que se mueven con las olas (Figura 14). Se deben colocar un gran número de dispositivos porque se sintonizan de tal

Figura 14. SISTEMA ADAPTADO A LA VARIACIÓN LA ALTURA DE LA SUPERFICIE DE LA OLA

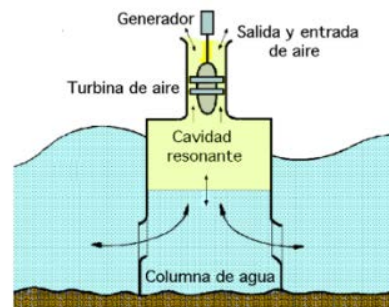


Fuente: Fernández Díez, 2002

- manera que pueden captar su energía. La mayoría de estos dispositivos utilizan el efecto de bombeo que proporciona un flotador. Su inconveniente principal se produce por la fiabilidad de los caudales y de la interconexión eléctrica (se les puede considerar aparatos de segunda generación).
- *Variación de la presión bajo la superficie de la ola:* esta técnica utiliza un sistema de columna de agua oscilante (Figura 15), esto es, una cámara que está abierta al mar y que encierra un volumen de aire que se comprime y expande por la oscilación del

agua inducida por el propio oleaje, haciendo que el aire que circula a través de una turbina puede ser bidireccional (se puede considerar aparato de primera generación) (Fernandez Díez, 2002).

Figura 15. SISTEMA EMPLEADO PARA APROVECHAR LA VARIACIÓN DE LA PRESIÓN BAJO LA SUPERFICIE DE LA OLA: CAVIDAD O COLUMNA RESONANTE

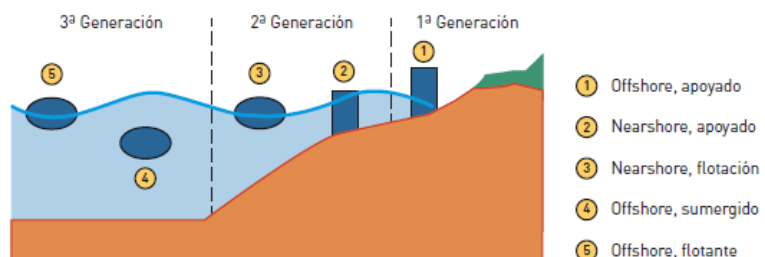


Fuente: Fernández Díez, 2002

Se puede realizar una clasificación de esta tecnología teniendo en cuenta la ubicación, en relación a la distancia que se encuentran de la costa (Figura 16):

- *Dispositivos en costa (onshore)*: son dispositivos apoyados en la costa en acantilados rocosos, integrados en estructuras fijas como diques rompeolas o sobre el fondo de las aguas poco profundas. Estos dispositivos se conocen también como Dispositivos de Primera Generación.
- *Dispositivos cercanos a la costa (nearshore)*: son dispositivos ubicados en aguas poco profundas (10-40 m) y distanciados unos cientos de metros. Estas profundidades moderadas son apropiadas para dispositivos de gran tamaño apoyados por gravedad sobre el fondo o flotantes. Estos dispositivos se conocen también como Dispositivos de Segunda Generación.
- *Dispositivos fuera de costa (offshore)*: son dispositivos flotantes o sumergidos ubicados en aguas profundas (40-100 m). Son el tipo de convertidores más prometedor ya que explotan el mayor potencial energético existente en alta mar. Estos dispositivos se conocen también como Dispositivos de Tercera Generación (Celis, 2015: 26).

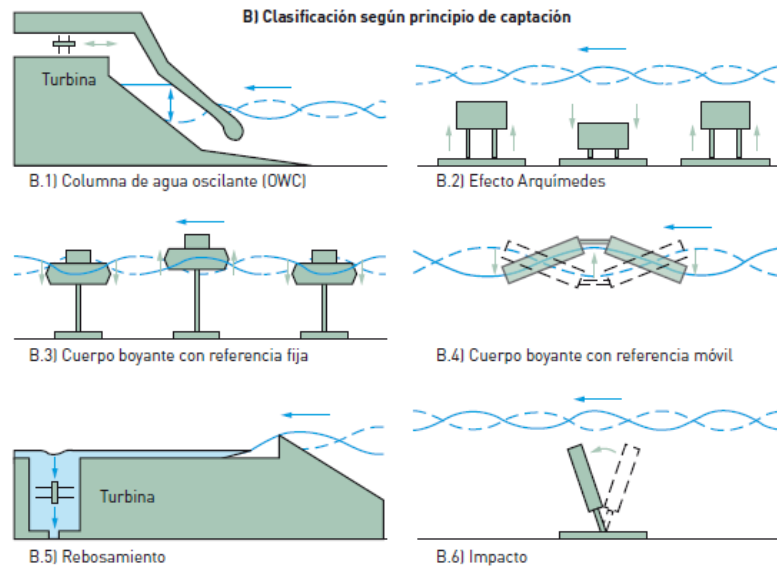
Figura 16. CLASIFICACIÓN DE LOS CONVERTIDORES DE ENERGÍAS DEL MAR, según su ubicación.



Fuente: IDAE, 2011c

Otra de las clasificaciones que se puede realizar trata el principio de captación de cada dispositivo, siendo su clasificación la siguiente (Figura 17):

- *Diferencias de presión en un fluido:* en la que los dispositivos basados en el aprovechamiento de la diferencia de presión creada por el oleaje en un fluido, normalmente aire, opera como medio de transferencia. En la actualidad, se pueden destacar dos tipos principales: columna de agua oscilante (Oscillating Water Column-OWC) y efecto Arquímedes.
- *Cuerpos flotantes:* son dispositivos constituidos por un cuerpo flotante que es movido por las olas. El movimiento oscilatorio que se aprovecha puede ser vertical, horizontal, en torno a un eje (cabeceo) o una combinación de los anteriores. Por otra parte, este movimiento puede ser absoluto entre el cuerpo flotante y una referencia fija externa (anclaje al fondo o lastre) o bien movimiento relativo entre dos o más cuerpos, siendo los primeros los más abundantes. En estos casos, los esfuerzos a los que son sometidos los amarres son importantes; además, estos dispositivos son sensibles a las mareas, y su instalación y mantenimiento resultan complejos. De todos los dispositivos existentes, el que está en una fase más avanzada de desarrollo es Pelamis de la compañía escocesa Pelamis Wave Power.
- *Sistemas de rebosamiento y/o impacto:* son dispositivos en los que las olas inciden en una estructura, lo que consigue aumentar su energía potencial, su energía cinética o ambas. Los sistemas de rebosamiento fuerzan a que el agua pase por encima de la estructura mientras que en los de impacto las olas inciden en su estructura articulada o flexible que actúa de medio de transferencia. Se conocen sistemas de rebosamiento onshore y offshore. Los primeros no son muy frecuentes ya que requieren la conjunción de una serie de características naturales en el emplazamiento y el coste de la obra civil es elevado. Un sistema de rebosamiento puede incluir o no un depósito que almacene agua. Los dispositivos que almacenan agua en un depósito en altura utilizan algún tipo de concentrador (canal en cuña o parábola) para incrementar la altura de las olas. Un sistema offshore representativo es Wave Dragon, desarrollado en Dinamarca por la empresa del mismo nombre. Por su parte, los sistemas de impacto suelen utilizar una pala articulada o una bolsa flexible (IDAE, 2011c: 201-202).

Figura 17. TIPOS DE CONVERTIDORES DE ENERGÍA, según su principio de captación

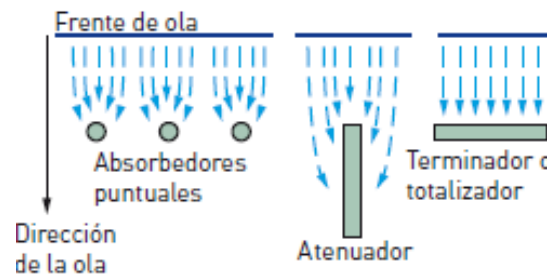
Fuente: IDAE, 2011c

La tercera clasificación, es la que permite tener en cuenta los factores del tamaño y orientación del dispositivo respecto al frente de la ola (Figura 18):

- **Absorbedores puntuales:** son estructuras pequeñas en comparación con la ola incidente; suelen ser cilíndricas e indiferentes a la dirección de la ola; generalmente se colocan varios agrupados formando una línea. Pueden captar energía de un frente mayor que el propio frente que ellos oponen, mediante un efecto antena (concentración y convergencia). Ejemplos tipo boya, como el sistema AquaBUOY de la compañía irlandesa Finavera Renewables o PowerBuoy de la empresa estadounidense Ocean Power Technologies.
- **Totalizadores o terminadores:** están situados perpendicularmente a la dirección del avance de la ola (paralelos al frente de onda), y pretenden captar la energía de una sola vez; son los más estudiados. Eliminan la ola incidente y tras estos sólo existe la onda radiada por el cuerpo en su oscilación. Ejemplos: Rectificador Russell, Pato Salter.
- **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. Ejemplos: Pelamis (Vates, 2009: 20-21; IDAE, 2011c: 203).

Figura 18. TIPOS DE CONVERTIDORES DE ENERGÍA, según el tamaño y orientación con respecto al frente de la ola



Fuente: IDAE, 2011c.

La última de las clasificaciones es la que tiene en cuenta su comportamiento dinámico, clasificándolos en:

- **Activos:** los elementos de la estructura se mueven como respuesta a la ola y se extrae la energía utilizando el movimiento relativo que se origina entre las partes fijas y móviles.
- **Pasivos:** la estructura se fija al fondo del mar o en la costa y se extrae la energía directamente del movimiento de las partículas de agua (Celis, 2015: 26).

Con la variedad tan extensa que existe de dispositivos captadores de energía, el panorama se encuentra en una situación compleja, al no centrar los esfuerzos en desarrollar de manera sustancial uno o un par de ellos. Además, hasta los proyectos que van en cabeza en cuanto a desarrollo, se topan con un problema común que conlleva incertidumbre, y es que debido a la falta de madurez tecnológica e industrial del sector se impide el conocimiento detallado de los materiales y procesos destinados a una fabricación óptima (IDAE, 2011c).

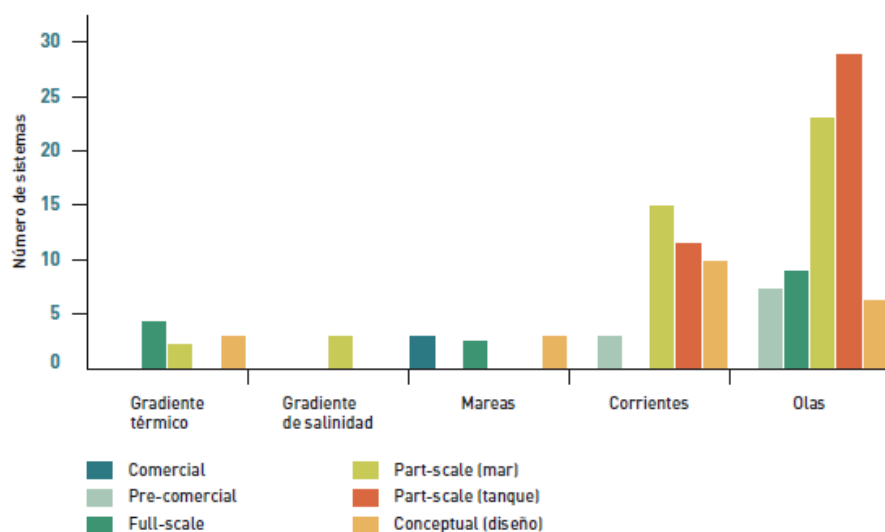
4.3. LA ENERGÍA UNDIMOTRIZ: IMPACTOS Y COSTE

La energía undimotriz se encuentra con dos aspectos antagónicos relativos al coste. Por un lado, el elevado coste económico de los convertidores de energía que frenan su

desarrollo; por otro lado, el coste ambiental que hay que asumir instalando estos dispositivos en la costa, que se considera menor, comparando con otros tipos de energía.

La tecnología aplicada al aprovechamiento de la energía de las olas, aún en un estado incipiente o pruebas piloto, requerirá de mayor desarrollo para poder conseguir ser competitiva en comparación con otras energías renovables (Figura 19). Este estado tecnológico en fase previa a la comercial, está caracterizado por grandes oportunidades para el futuro, pero también numerosas barreras que han de superar. En la actualidad, hay muchos dispositivos en desarrollo, a diferentes escalas, existiendo más de 1.000 patentes mundiales de generadores para captar las olas, los cuales tienen como objetivo demostrar su funcionalidad en el mar a corto plazo y fiabilidad de los mismos a medio plazo (Celis, 2015).

Figura 19. ESTADO DE DESARROLLO DE LAS TECNOLOGÍAS DE APROVECHAMIENTO DE ENERGÍAS DEL MAR. Año 2008



Fuente: IDAE, 2011c: 199

Sin duda alguna, uno de los grandes causantes para que no se produzca el despegue de estas nuevas tecnologías es su coste, ya que son muy elevados al encontrarse aun en un periodo fuera de escala comercial, así como a la inmadurez de las diversas tecnologías restándole fiabilidad. Por una parte, los prototipos de estas nuevas tecnologías deben arrojar resultados contrastables en el tiempo; y por otro, asumir una inversión superior a la prevista inicialmente en muchas ocasiones. Además, las horas previstas de funcionamiento reales no son cumplidas, ya que se generan problemas de mantenimiento

(Ejemplo: En la planta Pico Power instalada en las Islas Azores, la potencia esperada era de 400 KW teóricos, pero la realidad fue que por problemas mecánicos dio potencias de 20-70 KW). Otro problema es que los dispositivos, debido a la fuerza del mar, no sobreviven como es de esperar, tras los estudios realizados a “escala de tanque” (Ejemplo: La planta de Wavegen en Osprey, UK, nunca entro en funcionamiento, al ser destruida en su instalación, y la cual tenía previsto generan 2 MW teóricos) (IDAE, 2011c: 211-218).

Una reducción de dichos costes, será viable intentando buscar la I+D a un corto plazo (mejorando conceptos de diseño y optimización de la ingeniería), o bien haciendo uso de economías de escala en la producción, construcción, instalación, operación y gestión o con base en el aprendizaje, a largo plazo, para que pueda ser competitivo a escala comercial, pues el coste teórico de una planta de undimotriz rondaría 3,9 y 6,7 M€₂₀₁₀/MW. Las horas de funcionamiento, nunca consiguen las previsiones, que oscilan entre las 2.200 y 3.100 horas anuales, valores nunca alcanzados a rendimiento real por los prototipos. Los costes de inversión y operación de estas instalaciones dependerán de la dimisión, la capacidad, la ubicación, es decir, de la tecnología de aprovechamiento que se está aplicando. Gracias a la utilización de numerosas complejas herramientas de simulación, el coste de operación se situaría entre los 30 y 52 M€₂₀₁₀/MW/año, siendo tres cuartas partes destinado al coste de mantenimiento y reparación.

No obstante, estos datos, que no resultan tan positivos como se desearía esperar, no esperando una disponibilidad de plantas comerciales de energía undimotriz a corto o medio plazo, sí que sería factible la instalación de pequeñas plantas que suministren energía a la red con determinadas tecnologías más avanzadas, bien es cierto que requerirían de un fuerte apoyo de financiación, situándolo de esta manera, según algunas estimaciones, competitiva aproximadamente en 2020-2030.

El coste económico, no es el único obstáculo al que se enfrente la energía undimotriz, ya que las barreras administrativas, medioambientales y sociales también tienen su peso. Entre ellos se encuentran los marcos administrativos poco adecuados y adaptados a las peculiaridades de las energías renovables, que, en muchos casos, por intereses político-económicos, se ven frenados; dilatación y complejidad en la tramitación y gestión de autorizaciones, licencias, terrenos de los proyectos que se van a llevar a cabo de energías

marinas; la compatibilidad con diversos usos existentes en el mar; falta de aceptación o compromiso público por su insuficiente divulgación... Para ello se recogen en el IDEA 2011, una serie de propuestas para subsanar todos estos aspectos y poder hacer frente para un futuro favorable a la implantación de esta energía, fijándose como objetivo mundial, en una previsión para el 2020-2050, de 3,6 y 188 GW respectivamente, pudiéndose alcanzar así en 2050, mediante electricidad proveniente del mar, un equivalente a 100 centrales nucleares (IDAE, 2011c: 211-218; Rousseau, N., 2010; IDAE, 2011b).

Observando las dificultades económicas y administrativas que la instalación de convertidores de este tipo de energía pueda suponer, se plantea otro escenario beneficioso para la sociedad, el medio ambiente y, en definitiva, el conjunto del planeta, pues la energía renovable está estrechamente ligada al desarrollo sostenible -junto a la consecución de los Objetivos del Milenio-, puesto que, satisface las necesidades de la actual generación, pero sin poner el peligro la capacidad que tengan las generaciones futuras de satisfacer sus propias necesidades, y esto es algo que la energía renovable se compromete a velar por ello (IPCC, 2011: 119-130; UNESCO, 2017).

Las energías renovables se deben de evaluar en el contexto de cada país, ya que ofrecen la oportunidad de contribuir a varios de los objetivos del desarrollo sostenible importantes como son: el desarrollo social y económico; el acceso a la energía; la seguridad energética; y, la mitigación del cambio climático y reducción de sus efectos sobre el medio ambiente y la salud, quizá, el objetivo que más se tiene en cuenta por la sociedad y que mitigaría el cambio climático antropogénico y que ha fomentado el uso de energías renovables en todo el mundo. Estos objetivos se pueden aplicar a los dos modelos de desarrollo sostenible (de los tres pilares y el de los paradigmas de sostenibilidad débil y fuerte), facilitando políticas responsables que evalúen el impacto de las energías renovables en el desarrollo sostenible y poder formular medidas económicas, sociales y medioambientales adecuadas (IPCC, 2011: 119-130).

En un contexto más reducido y de interés al tener gran potencial y escaso desarrollo en renovables, la Comunidad Autónoma de Cantabria, se presenta como una gran candidata para poder instalar dispositivos de captación de energía marina del oleaje debido a que existe -además del potencial propio del mar, como ya se ha comentado previamente- un

gran capital humano especializado, entre los que se encuentra el IH Cantabria de reconocido prestigio internacional; el Tanque Oceánico-Costero, una Infraestructura Científica y Técnica Singular única en España que permitiría un ensayo e investigación de la hidrodinámica del mar; así como un parque experimental en su costa con prototipos, tanto de energía undimotriz como eólica flotante (Vidal, 2008).

Relativo a los impactos ambientales que la energía undimotriz puede presentar en el ámbito socio-económico, no hay ningún estudio específico completo para el Cantábrico que aporte una información detallada debido a la falta de proyectos en este campo -que como se ha podido ver, a pesar de su mayor potencial, tiene un menor desarrollo en comparación a otras energías oceánicas-. En el ámbito medioambiental, el impacto analizado en un estudio realizado para Iberdrola a raíz de un proyecto relativo a la instalación de un campo de boyas frente a Santoña, giró en torno al impacto en la dinámica litoral -uno de los posibles impactos de la energía undimotriz-, el cual, debido a su reducida dimensión, concluyeron con un impacto apenas perceptible (Vidal, 2017).

Considerando que la energía eólica marina está mucho más desarrollada, con un impacto debido al uso del territorio marina, cables y subestaciones es muy similar a la de los de aprovechamiento de la energía del oleaje -con una gran diferencia dado que no tiene impacto en la parte atmosférica-, sirve para realizar una aproximación (Vidal, 2017).

Los impactos ambientales pueden estar asociados a dos grandes aspectos:

- Asociados a la reducción de energía: por la modificación local del oleaje y de las corrientes; por la alteración del ecosistema costero; por la alteración de la dinámica costera (estudio realizado en Santoña). Para disminuir estos impactos tiene que existir una permeabilidad del campo de oleaje, situándose en Santoña en el 96%.
- Asociados a las instalaciones: relativos al impacto de los anclajes en los fondos; al impacto de los equipos situados en el fondo, así como los cables submarinos que necesiten; y del impacto de las propias instalaciones situadas en tierra y líneas de evacuación de energía.

Los impactos socio-económicos, como se ha comentado no existe ningún estudio al respecto para el área del Cantábrico, pero dado que puede ser muy similar a los de la eólica marina, se podrían enumerar algunas líneas de impactos: impactos en la navegación comercial; impacto sobre actividades turísticas debido al impacto visual que puedan tener los dispositivos; un impacto en las actividades pesqueras (santuarios); ruidos y vibraciones durante su funcionamiento; generación de campos electromagnéticos; alteración de la biota y los hábitats; erosión de la costa, ya que algunos dispositivos pueden originar un incremento, o también pueden provocar una reducción de la acción del oleaje favoreciendo un incremento de depósitos de sedimentos; alteración de la calidad del agua... Por lo tanto, en unas líneas de vital importancia en el Mar Cantábrico (IPCC, 2011; Vidal, 2017; PROEXCA, 2014).

A tenor de los posibles impactos mencionados, el aprovechamiento de esta energía se presenta como un aporte sustancial de las necesidades energéticas que tiene la sociedad y, además, con algo tan beneficioso como unos impactos ambientales reducidos. Ha de sumarse aspectos tan beneficiosos como la reducción de emisiones de contaminantes que supondría; la flexibilidad que tiene para su instalación; que se trata de un recurso abundante; es relativamente predecible; favorece un desarrollo de la economía local; y tiene múltiples aplicaciones.

5. LA CARRERA HACIA EL APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA DE LAS OLAS

Los proyectos de energía undimotriz, a pesar del elevado costo -lo que hace que no esté en un estado de desarrollo muy avanzado-, hay países que sí que están apostando por ella por su gran potencial, con las miradas puestas en el futuro. A continuación, se van a exponer algunos casos en los que se existen ya proyectos con la instalación de diferentes dispositivos, a diferentes escalas internacionales.

5.1. HAWAII: ALTERNATIVA SOSTENIBLE A LA DEPENDENCIA ENERGÉTICA

Hawaii es el estado más dependiente de los combustibles fósiles dentro de EE.UU., de ahí que tengan un gran interés en reducir esa dependencia mediante las energías renovables, ya que depende al 90% del petróleo importado para generar electricidad, siendo un recurso de naturaleza finita a escala humana y que, además, es vulnerable a las fluctuaciones de los precios y disponibilidad. Una de las energías que más beneficios está aportando a este archipiélago es la energía solar, capaz de generar ya electricidad y almacenarla de una manera más barata económicamente que los combustibles fósiles. En concreto, Kauai -una pequeña isla hawaiana de 65.000 habitantes-, es la única que no tiene su sistema eléctrico en manos de la compañía Hawaiian Electric, ya que está gestionada por una cooperativa local que tiene como objetivo llevar las renovables a la isla. Esta instalación supone un suministro del 11% de las necesidades de la isla (Fernandez, 2017; HCEI, 2017).

Con un escenario tan idílico como necesario, es comprensible que se lleven a cabo proyectos de investigación en otras fuentes de energía renovables, siendo una de ellas la undimotriz, en un lugar mundialmente conocido por las olas que se producen ahí. Estos proyectos, pretenden llegar a 2030 con un 40% de la energía proveniente de fuentes renovables, mediante un acuerdo entre el gobierno de ese Estado y Hawaiian Electric Company. Las islas hawaianas no van mal encaminadas, ya que cada una de las seis principales, tiene por lo menos, una fuente de energía renovable. Maui -una de estas seis islas- la fuente renovable principal es la energía undimotriz (Reynal, 2009; The New York Times, 2009).

El departamento de Negocios, Desarrollo Económico y Turismo y la División de Energía, encargaron la primera evaluación completa de la energía de las olas como fuente potencial de energía para el estado de Hawaii, ya que, en la resolución adoptada por la Cámara de representantes, serecoge que la energía de las olas es abundante; es un recurso energético con gran potencial; hay gran número de dispositivos de conversión de energía de las olas que se pueden localizar en tierra o en mar, siendo fijos o flotantes. También

recoge que plantea desventajas, haciendo necesario un estudio de las ventajas y desventajas.

Dicha evaluación comenzó con unos registros de onda de cuatro sitios de medición diferentes, para poder ilustrar los efectos de la orientación de los dispositivos en la costa, la protección de estos respecto a costas adyacentes o islas vecinas. También se evaluaron seis tipos de tecnologías diferentes que se consideraba que podían tener aplicación potencial a corto plazo:

- Canal cónico con base en tierra (TAPCHAN);
- Columna de agua oscilante basada en tierra o cajón (OWC);
- Aleta basculante basada en cajones;
- Boya de levantamiento en alta mar;
- Bolsa flexible en alta mar; y
- Cilindro flotante sumergido en alta mar.

Se realizó de proyecciones de costo y rendimiento, y, a modo de ejemplo, una evaluación para una boya de levantamiento sueca, desplegada en alta mar en Oahu, recuperando tan solo el 5-10% del potencial de energía de las olas disponible en las plataformas de alta mar en las costas al norte de Kauai, Maui y Hawaii podrían satisfacer las demandas eléctricas totales de estas islas.

Únicamente se vería limitado por ciertas consideraciones como: el impacto ambiental y visual; por la variabilidad temporal del recurso y la capacidad de transmisión terrestre; y, las limitaciones financieras. Dichas limitaciones eran aplicables en la fecha de la evaluación (1992) como hoy en día.

La suma de la preocupación medioambiental y la factibilidad del proyecto en cuestión serán los motivos que frenen su desarrollo. En los lugares donde la topografía permite una disminución de la excavación y donde se facilita la colocación, se puede optar por colocar dispositivos CHAPTAN, dando un bajo costo de energía. Estas plantas se sitúan en rompeolas, económicamente factibles, únicamente si tiene un doble propósito -como mejoramiento portuario, protección de la orilla o construcción de un perímetro para una

plataforma flotante muy grande-. La colocación de este dispositivo en un rompeolas sería una opción factible y se justificaría más la inversión, pero actualmente hay una baja tolerancia a cualquier alteración sustancial de la costa, además de que la cantidad de energía que se puede obtener en estas zonas puede no ser suficiente. Un dispositivo de muy similares características al instalado en Mutriku (España) (DBEDT, 2012).

Del mismo modo que ocurre en otros lugares donde se están llevando a cabo proyectos de investigación sobre la energía de las olas, en Hawái existe un sitio de pruebas, denominado por sus siglas en inglés WETS (Wave Energy Test Site), con el objetivo de establecer y mantener un lugar para realizar pruebas de los diferentes dispositivos de conversión de energía undimotriz. Este lugar presta una ubicación idónea para realizar este tipo de pruebas y poder así evaluar el rendimiento energético de estos dispositivos. Permitirá obtener nuevos registros históricos tanto de las olas como de las corrientes oceánicas, así como evaluar la viabilidad ambiental de las instalaciones de WEC's -entre ellos el impacto acústico de los dispositivos probados-, generando una base de datos única y sin precedentes, que servirá de utilidad en la comunidad de energía renovable marina (Vega, 2017).

5.2. LA ENERGÍA UNDIMOTRIZ EN EUROPA: CAMBIO EN LA POLÍTICA ENERGÉTICA EN GRAN BRETAÑA

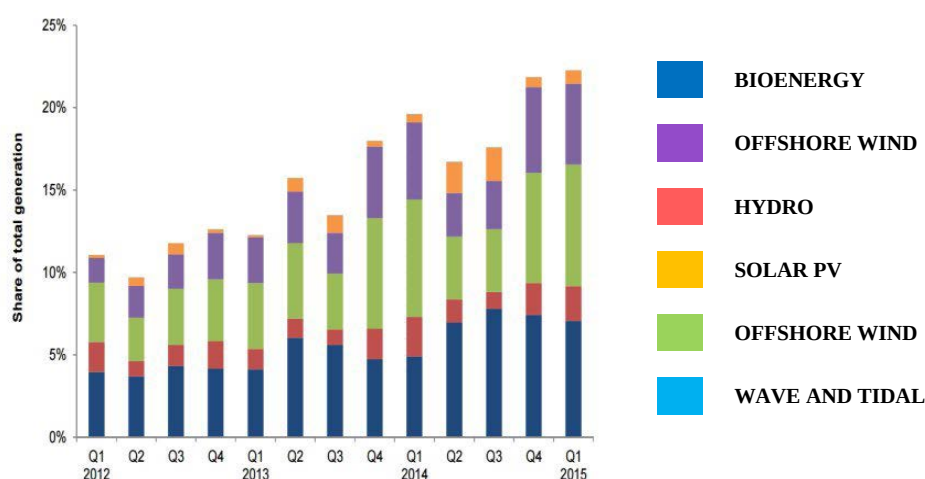
El tema de interés a nivel internacional, es en Escocia, concretamente en las Islas de Orkney, de especial provecho dado que los proyectos no están en fase de prueba, sino que ya están aplicados a escala real y aprovechando su energía para la población y, porque representa que Reino Unido sea un país referente en aprovechamiento de energías alternativas.

Las islas de Orkney, al norte de Escocia, se han convertido en un capital valioso para el Reino Unido. Gracias a las condiciones climáticas que pueden resultar hostiles a simple vista, Escocia se ha lucrado para aprovecharlas en la generación de energía marina. En este lugar es donde funciona el Centro Europeo de Energía Marina (EMEC) creado por el

gobierno británico para impulsar la industria de este tipo de energía renovable y más ecológica.

Esto ha hecho que el Reino Unido ocupe una posición de vanguardia en la investigación y desarrollo de la energía marina, y son muchos los que opinan que este sector podría cubrir un tercio de las necesidades energéticas británicas en un futuro pues está avanzando a pasos agigantados en este país. El Reino Unido es uno de los lugares con las mejores condiciones de oleaje del mundo y se estima que posee capacidad para generar aproximadamente 87 TWh de energía undimotriz al año, lo que equivale entre un 20% y un 25% de la demanda actual del Reino Unido, un porcentaje ya alcanzado por el conjunto de renovables en el primer trimestre de 2015 (Figura 20) (Roca, 2015)

**Figura 20: SUMINISTRO DE ENERGÍA RENOVABLE
EN EL REINO UNIDO (en %). 2015**



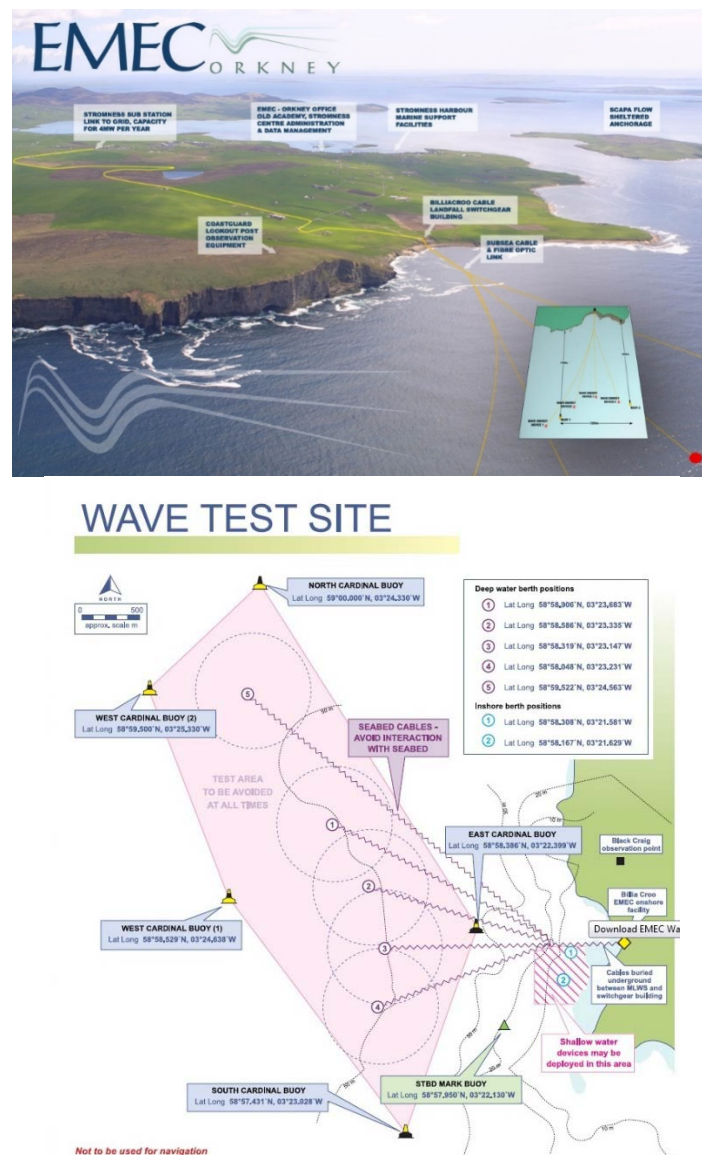
Fuente: Roca, 2015.

El EMEC, en colaboración con diversas empresas tecnológicas privadas y organismos gubernamentales, es pionero en el mundo en el perfeccionamiento de la tecnología para que la energía marina ocupe una posición importante en la red nacional eléctrica. El EMEC es un centro de renombre internacional consagrado al desarrollo de la energía generada por el movimiento de las olas que nació con el objetivo de impulsar la evolución de los dispositivos de energía marina y guiarlos desde la fase de prototipo a la comercial.

Este centro, ubicado en la ciudad de Stromness en las islas Orkney, es el primero de su clase en el mundo. Una de sus funciones es ofrecer a los promotores de la energía marina

la oportunidad de probar los prototipos de sus dispositivos a tamaño natural en condiciones de oleaje rigurosas. Muchos de los recientes logros que han tenido lugar en este sector energético renovable han sido posibles gracias a los servicios que ofrece dicho centro. Construido en 2003, el EMEC alberga instalaciones para prueba de olas (Figura 21). Las pruebas se realizan en muy variadas condiciones climatológicas y marinas, y el centro proporciona supervisión constante para ofrecer el mejor análisis del rendimiento de los prototipos.

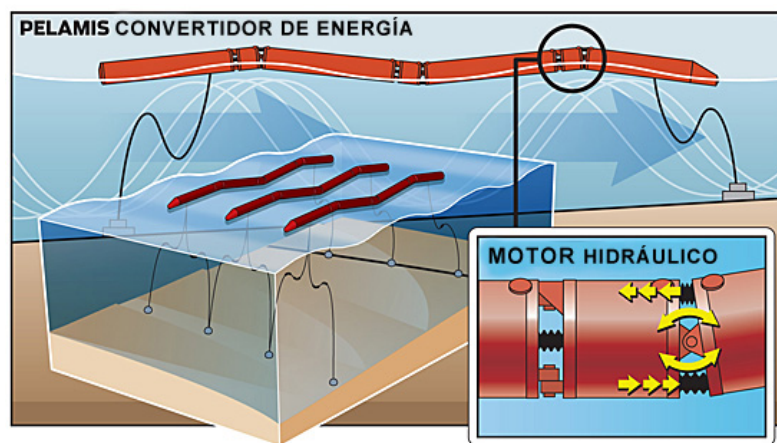
Figura 21: INSTALACIONES DEL CENTRO EUROPEO DE ENERGÍA MARINA (EMEC)



Fuente: EMEC, 2016

El EMEC fue creado por el gobierno del Reino Unido como parte de un proyecto más ambicioso según el cual se prevé que la energía renovable constituya un 20% de la energía nacional en el 2020, a la par con los objetivos fijados por la UE (Greiffenstein, 2011). Según Iberdrola, promotora del Proyecto Pelamis P2 de aprovechamiento de la energía de las olas, este es “el primer centro del mundo que ofrece a los promotores la posibilidad de probar sus prototipos de tamaño natural en condiciones de oleaje y mareas reales”. El Pelamis P2 es una infraestructura en forma de serpiente capaz de absorber la energía de las olas del mar y convertirla en electricidad de origen renovable a través de unos cilindros hidráulicos. La energía generada se lleva a tierra a través de cables submarinos. Esta segunda generación de la tecnología Pelamis Wave (Figura 22) y, según Iberdrola, ha conseguido mejorar sustancialmente su eficiencia con respecto a la primera. La infraestructura de la compañía española se va a instalar en el EMEC junto a otra similar de la empresa alemana E.On, con el objetivo de avanzar conjuntamente en el desarrollo del sector de la energía de las olas (Sánchez García, 2011a; Greiffenstein, 2011).

Figura 22. CONVERTIDOR DE ENERGÍA PELAMIS

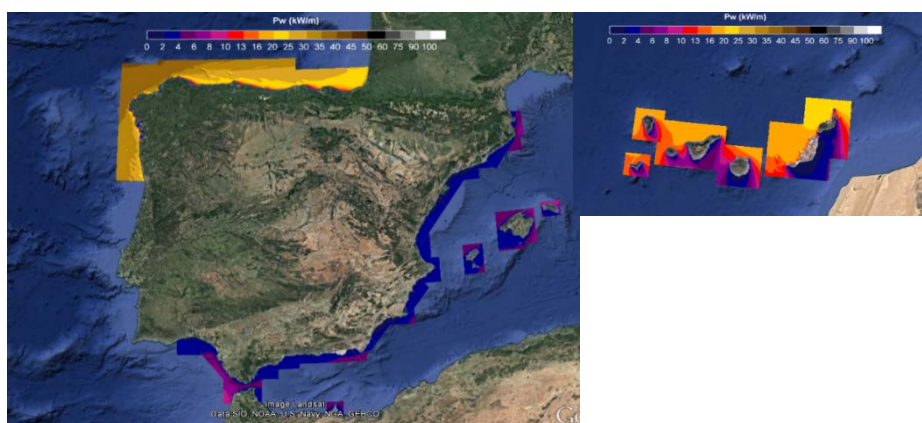


Fuente: Ramos, 2011

6. LA “APUESTA” DE ESPAÑA POR LA ENERGÍA UNDIMOTRIZ

España posee un importante potencial de energías marinas, en el que, por las características de la costa, parece que solo la energía undimotriz dispone de recurso viable de gran calidad para su futura explotación, aunque también en energía de las corrientes marinas, el sur peninsular presenta gran potencial teórico, pero su viabilidad está limitada por el tráfico marítimo y su valor ambiental (Figura 23).

Figura 23. POTENCIAL DE ENERGIAS MARINAS EN ESPAÑA, en kW/m



Fuente: ENOLA IH CANTABRIA, 2016.

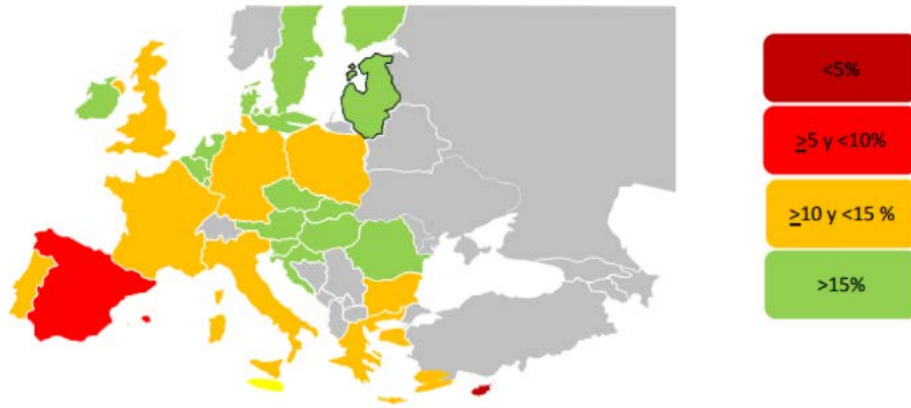
Respecto a energía undimotriz, diversos prototipos han comenzado a probarse en distintas zonas del país, con el objetivo de que en unos años la fuerza del oleaje se pueda convertir en una fuente de energía renovable más.

Dadas estas condiciones, teniendo en cuenta la gran dependencia energética que tiene España, se puede encontrar con diversas situaciones que comprometan el suministro de energía o, más comúnmente su precio, debido a las situaciones de inestabilidad geopolítica. La revolución no convencional de Estados Unidos, las primaveras árabes, el embargo a Irán, el aumento de los riesgos energéticos en el Golfo de Guinea o el activismo energético ruso, son algunos de ellos, y han producido una transformación del escenario de la energía en toda Europa, sin saber aún hacia donde se encamina.

La UE se ve obligada a diseñar una política energética exterior para que no afecten todas estas situaciones. Para la UE, los productores convencionales como Rusia, el Norte de África y el Golfo Pérsico mantienen una centralidad geopolítica con el temor de un fenómeno no convencional en Europa o incluso, recibir las exportaciones estadounidenses de gas. Mientras esta revolución estadounidense sea limitada, Europa asegurará su abastecimiento a sus proveedores tradicionales. Sin embargo, con el aumento de la tensión geopolítica con los suministradores habituales de la UE, sí que se ha beneficiado de la revolución no convencional de Estados Unidos, creando una presión a la baja de los mercados de hidrocarburos (Escribano, 2014).

Junto a la revolución de recursos no convencionales estadounidenses, la producción de energías renovables o la existencia de nuevos consumidores emergentes provocando un desplazamiento de la demanda mundial de energía, se compone una de las dos transiciones en la geopolítica mundial -en este caso con cambios de poder horizontal hacia nuevos actores-. La otra transición, con un desplazamiento vertical desde el poder energético tradicional basado en los recursos materiales que se encamina a un poder energético blando -poder que ejercen los países mediante el ejemplo proponiendo nuevos modelos para luchar contra el cambio climático, la degradación ambiental, el desarrollo sostenible o la justicia energética- fundamentado en normas y vectores ideacionales, como un buen gobierno de los recursos energéticos, la lucha contra la pobreza energética o la sostenibilidad.

A pesar de ello, el poder blando puede tener consecuencias duras por la competencia normativa, que puede ocasionar conflictos geopolíticos como la actual rivalidad entre Rusia y la UE, apostando el primero por exportar gas a países emergentes como China en detrimento de países miembros de la UE, lo cual puede hacer peligrar el suministro energético e influir en un factor clave como la competitividad de la industria. Una competitividad que ha ocasionado ya pérdidas del 10% frente a otros países. Por consiguiente, desde la UE se ha apostado por proyectos PIC (Proyectos de Interés Común) que permitirán un aumento de la interconexión entre países (Figura 24), tanto eléctricas como de gas, hasta instalaciones de almacenamiento de electricidad, gas y estaciones de regasificación de gas licuado. España se verá beneficiado con estos proyectos porque duplicará su interconexión con Francia y Portugal, en un escenario



6.1. CANARIAS

Canarias dispone de las terceras mejores costas de España -en lo que al potencial del oleaje respecta-, disponiendo de un potencial de entre 10-20 kW/metro del frente de la ola.

Canarias reúne una serie de características que hacen que sea un escenario favorable para la implantación de esta serie de dispositivos, entre los que se encuentra: la profundidad de sus aguas; la calidad de un oleaje constante; unos mínimos riesgos climáticos; una industria naval desarrollada y uno de los costes energéticos más caros de Europa (Espedal, 2014; Sánchez García, 2011b). Algunos de los proyectos llevados a cabo son:

- *Proyecto WELCOME (Wave Energy Lift Converter España)*: proyecto financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación, MICINN, para la construcción de un prototipo a escala 1:5 que transforma la energía de las olas en energía eléctrica, denominado APC-PISYS. El prototipo ha sido diseñado por la empresa española PIPO System, y está ya construido y fondeado en el banco de ensayos marino de la Plataforma Oceánica de Canarias PLOCAN (IDAE, 2011c).

El dispositivo dispone de tres partes (una boya de 5 m; un tanque sumergido donde se produce la conversión; y, un muerto de hormigón que ancla la estructura al fondo marino), y la corriente eléctrica es llevada a tierra a través de un cable submarino, permitiendo un abastecimiento eléctrico a barcos en medio del mar (Espedal, 2014).

- *Proyecto UNDIGEN*: Wedge Global ha llevado a cabo el desarrollo de un innovador Power Take-Off (PTO) eléctrico, basado en un generador lineal de reluctancia conmutada (ausencia de imanes permanentes), que se está aplicando a escala completa con una salida de 200 kW de potencia. El proyecto ha recibido financiación a través del Programa Innpacto 2011 (MICINN). El prototipo ha superado satisfactoriamente sus ensayos on-shore (Cedex-Ciemat), y próximamente será instalado en el banco de ensayos marino de PLOCAN, cuya funcionalidad off-shore será probada en 2012 (Proyecto Undigen). Dicho consorcio público-privado ha

obtenido 2,5 millones de euros dentro del Programa Innpacto 2011 (MICINN) para la financiación del referido Proyecto Experimental (IDAE, 2011c).

- *Proyecto Robusto:* El dispositivo denominado Robusto, es un convertidor semi-sumergido que transforma el movimiento de las olas en energía eléctrica, diseñado por la empresa noruega Langlee Wave Power, la cual ha elegido Canarias para su fabricación e instalación. Este convertidor aúna los conocimientos tecnológicos offshore de Noruega con materiales estándar y de bajo mantenimiento. Su eficiencia es su punto fuerte, pudiendo alcanzar el 64%, superando cualquier expectativa de otro convertidor, lo que supone más de 4.400 horas de producción anual a la potencia pico.

Su diseño permitirá que la mayoría de sus componentes puedan fabricarse localmente, potenciando así la industria local y creando mano de obra cualificada en Canarias. En la primera fase, este dispositivo tendrá una potencia de 132 kW, y tiene la característica de que pueden añadirse nuevos aparatos a él, ensamblando así tantos como se requieran. Destaca el director general de la empresa que este convertidor es ecológico y sostenible, y no produce impacto visual ni ambiental, además de ser compatible con actividades recreativas marinas (PROEXCA, 2014).

6.2. EL CANTÁBRICO

El Mar Cantábrico es la zona costera con mayor potencial de España. Dentro de área, existen tres zonas con gran potencial de energía undimotriz y que, a su vez, están desarrollando proyectos relativos al aprovechamiento de este tipo de energía renovable. Estas zonas son: Galicia, País Vasco y Cantabria.

6.2.1 Galicia

En la Comunidad Autónoma de Galicia, existen tres proyectos relevantes en este ámbito. Estos proyectos son los siguientes: un proyecto llevado a cabo con la tecnología de Pelamis; un proyecto de desarrollo tecnológico nacional PIPO SYSTEM que se basa en

un cuerpo flotante unido a un depósito sumergido, el cual dispone de un volumen de aire cautivo; y, una planta en dique con tecnología de columna de agua oscilante (IDAE, 2011c).

A pesar de estos tres proyectos llevados a cabo, la información existente es escasa, ya que su aprovechamiento se encuentra en procesos de investigación con diversos sistemas, con poca madurez tecnológica, pero con prometedores resultados ya que es la zona de España con mayor potencial energético. Por tanto, suscita gran interés analizar la posibilidad de implantar algún proyecto a mayor escala real en las costas gallegas, encontrándose en periodo de evaluación su viabilidad (INEGA, 2017).

La información en estas energías, se encuentra principalmente recogida por medios de comunicación que informan de actuaciones llevadas a cabo, pero que no entran en detalle del proyecto.

Se recoge, entre otros aspectos, la apuesta por el conselleiro de Economía e Industria de la Xunta de Galicia por este sector, ya que la energía undimotriz puede suponer un nuevo sector industrial, debido a su elevado potencial, por lo que la Xunta prepara una norma. En Ferrol, se desarrolló un proyecto con la colaboración de Galicia Mar Renovables, mediante una boya de la cual se espera obtener un millón de megavatios a la hora, energía suficiente para abastecer a 300 familias durante un año.

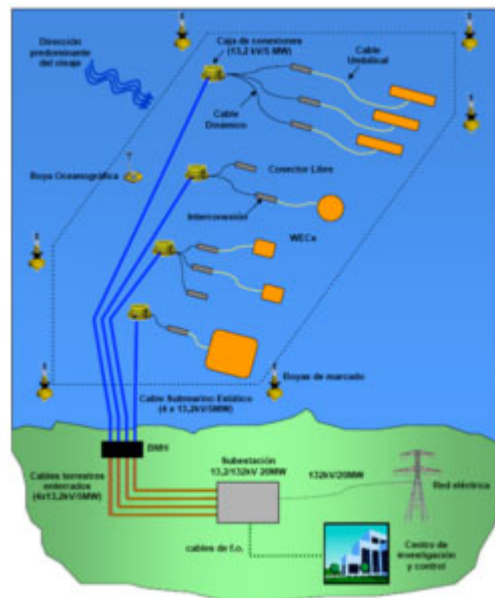
Por todo este potencial y sus grandes perspectivas de crecimiento en la zona de Ferrol, el Gobierno Gallego elabora una normativa reguladora de la actividad, para convertir a Galicia en la primera comunidad de España con una “norma clara” al respecto y poder situar a Galicia a la vanguardia de esta energía (Europa Press, 2011; REVE, 2011).

6.2.2 País Vasco

Dadas las condiciones excepcionales del Mar Cantábrico, que permiten probar la eficacia de nuevos mecanismos y tecnologías para el aprovechamiento de la energía de las olas, se ha creado unas instalaciones abiertas, el BIMEP (Biscay Marine Energy Platform) en Arminza, que permite a fabricantes de sistemas de generación de energía marina que se instalen en ella para explotación-demostración o para realizar diferentes pruebas. Una instalación de similares características al EMEC de Escocia, que pretende posicionar al País Vasco como referente internacional en la energía marina.

Esta instalación cuenta con las siguientes características: 20 MW de potencia; 4 puntos de conexión para WEC's; facilidades para la instalación, ensayo, pruebas y explotación; un centro de investigación asociado. Esta moderna infraestructura submarina, tiene conexión con la red eléctrica en tierra (aprovechando el cableado de la central nuclear de Lemoiz que nunca se utilizó) y un sistema para recoger los datos originados en los ensayos (Figura 25) (Europa Press, 2015; BIMEP, 2013a).

Figura 25: ESQUEMA DE LAS INSTALACIONES DEL BIMEP



Fuente: BIMEP, 2013a

Además, en el País Vasco, en 2011 se puso en marcha la primera planta de estas características en el mundo basado en el aprovechamiento de la energía de las olas sobre

la construcción de un nuevo dique en Mutriku (Guipúzcoa), que utiliza la tecnología de columna de agua oscilante con 16 turbinas y una potencia total de 300 kW, desarrollado por la Administración Autonómica. Gracias a esta planta, junto a otras energías renovables, ha permitido que la participación de las renovables sobre el consumo final de energía mejoró hasta haber alcanzado un 8,1% (BIMEP, 2013b; IDAE, 2011c).

6.2.3 Cantabria

En Cantabria, puesto que es otra zona con gran potencial de energía undimotriz, y cuenta con una institución experta en este ámbito -IHCantabria y el Tanque Oceánico-Costero-, la sociedad IBERDROLA ENERGÍAS MARINAS DE CANTABRIA (con una participación del 60% por parte de IBERNOVA, 10% SODERCAN, 10% IDAE, 10% TOTAL y 10% Ocean Power Technologies Inc) ha desarrollado, con la colaboración de la Universidad de Cantabria, un prototipo de una boya de 40 kW del tecnólogo Ocean Power Technologies OPT, junto a otras 9 boyas de 150 kW, con una potencia de 1,39 MW, y ubicado a 3km de la costa de Santoña con conexión eléctrica a la línea de suministro del Faro del Pescador.

Este emplazamiento se eligió por el recurso elevado, por la cercanía a la costa y a su vez, a la línea eléctrica que llega hasta el Faro del Pescador (Santoña), y, porque se encuentra fuera de pasillos de navegación.

En relación a la economía que puede surgir en torno a una instalación de este tipo, las boyas han sido fabricadas en España, minimizando así los costes de transporte y generando tejido industrial. por otro lado, la electrónica ha sido fabricada por OPT y transportada en la capsula, en barco, hasta su emplazamiento. Después de ser botada al mar en octubre de 2009, habiéndose tenido que llevar a talleres para un acondicionamiento y mejoras en el sistema hidráulico y eléctrico. Su mantenimiento exige cada tres años extraer la boya del agua, limpiar y repintar la superficie con un producto “anti-fouling” y protección catódica y reinstalarlo. Además de, cada 7 años, sustituir el generador y la bomba hidráulica (Legaz, 2006).

También se está desarrollando el proyecto WAVEPORT, en el que participan varios agentes de distintas nacionalidades y que se va a desarrollar en España. Este proyecto pretende hacer frente a la falta de demostración tecnológica a escala comercial, por lo que se instalará: un convertidor de energía undimotriz (absolvedor puntual) de gran escala (PoweBuoy 150), una subestación transformadora submarina para ofrecer la posibilidad de validación de futuros convertidores y un novedoso sistema de medición en tiempo real (*Wave-by-wave*) (IDAE, 2011c).

7. CONCLUSIONES

La energía undimotriz, en definitiva, es una de las energías renovables más prometedoras que existen actualmente, ya que dentro de las energías marinas es la que más cantidad de energía genera y se encuentra distribuida por las costas donde mayor consumo energético mundial existe. A pesar de ello existe un alto costo de las tecnologías actualmente existentes, los proyectos aún en etapa pre-comercial. Existe todavía una gran divergencia de tecnologías (maduración tecnológica), en este punto la energía mareomotriz se encuentra más avanzada que la undimotriz.

La energía de las olas, con una capacidad de generación del orden de tres veces la demanda eléctrica proyectada para el 2050, y con grandes sinergias con la eólica marina en su desarrollo tecnológico, sorprende que no esté explícitamente considerada en los programas para desarrollar las energías renovables en nuestro país.

Debe de tenerse en cuenta, positivamente, para el fomento de la utilización de esta energía, que la energía undimotriz es un recurso concentrado, predecible, cercano a gran cantidad de consumidores y de alta disponibilidad, ya que es un recurso abundante con flujos de energía elevados; las olas pueden desplazarse durante largas distancias sin apenas disipar energía; el desarrollo de este tipo de energía dará seguridad de suministro energético con difícil acceso a la red eléctrica; es una energía renovable que no tiene emisiones contaminantes; tiene otras aplicaciones a parte de la generación de electricidad como son la producción de hidrógeno o la obtención de agua potable del mar.

No sería correcto plantear este aprovechamiento energético alternativo como algo beneficioso al 100%, ya que también puede tener ciertos impactos medioambientales y sociales. Dicha energía no emite directamente CO₂ a la atmósfera, por eso se la tiene considerada como alternativa, pero esto es cierto en relación a las operaciones de obtención de energía. Sin embargo, sí que podrían producirse ciertas emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en los diferentes ciclos de vida de los sistemas de obtención de energía (como por ejemplo la extracción de insumos, la fabricación de componentes, la construcción, el mantenimiento y el desmantelamiento). Una reseña completa de estudios de evaluación del ciclo de vida publicada en 1980 indica que los GEI en los sistemas de oleaje aprox. 8 g CO₂eq/kWh. Aun así, en comparativa con las tecnologías de generación de energía fósil, evidentemente son mucho menores (IPCC, 2011).

La situación actual hace pensar que, aunque tengan un futuro prometedor, no van a terminar de despegar a corto plazo, ya que, en 2015, la capacidad de energía oceánica, sobre todo la energía mareomotriz, se mantuvo en 530 MW. Durante ese año se presentó una mezcla de vientos a favor y en contra para la industria de la energía oceánica. Varias empresas continuaron teniendo éxito con sus tecnologías de energía oceánica al desplegar dispositivos nuevos o mejorados, sobre todo en aguas europeas. Sin embargo, al menos una empresa se fue a la quiebra, y la industria en su conjunto enfrentó un panorama financiero restringido que iba más allá del financiamiento público. Como en la mayoría de los años anteriores, los despliegues de tecnología de energía oceánica en 2015 eran en general proyectos piloto, cuya actividad principal se enfocaba en tecnologías de energía mareomotriz, y en dispositivos capaces de transformar el oleaje en energía (REN21, 2016: 10).

Siendo una de las energías marinas más prometedora -junto con la eólica-, las características del litoral español obligarían al desarrollo de unos sistemas flotantes anclados en alta mar, para lo que sería necesario un mayor desarrollo en las diferentes tecnologías, creación de zonas de pruebas en alta mar, centros para su investigación, utilización de nuevos materiales y sistemas de transporte y montaje específicos, además de una legislación favorable para su implantación y conexión a la Red Eléctrica Española (Vidal, 2008).

Al futuro que promete esta energía, sumada a la eólica marina, diversos estudios ya plantean una serie de sistemas híbridos, que no harían más que garantizar su éxito ya que se potenciaría. Estos sistemas híbridos combinarían un aerogenerador marino y un WEC en la misma estructura, conformando así una plataforma polivalente -que podría ser fija o flotante, y que, en esta última, el WEC serviría como atenuador de los movimientos de la plataforma de offshore flotante-.

BIBLIOGRAFÍA Y FUENTES

- Amundarain, M. (2012). La energía renovable procedente de las olas. *Ikastorratza*, e-Revista de didáctica, (8), 1-14.
- Banco Mundial (2017). Indicadores. Energía y minería: consumo energía eléctrica (kWh per cápita). Grupo Banco Mundial, Datos de libre acceso.
- Barringer, F. (2009). *Hawaii tries Green tolos in remakingpower grids*. En: The New York Times.
- BIMEP (2013a). *Biscay Marine Energy Platform (BIMEP)*. Disponible, en julio de 2017, en: <http://bimep.com/>
- BIMEP (2013b). *Actualidad: Euskadi alcanza un abastecimiento mediante renovables del 8,1%*. En: BIMEP. Disponible, en julio de 2017, en: <http://bimep.com/euskadi-alcanza-un-abastecimiento-mediante-renovables-del-81/#.WV0rAYiLTIV>
- BP (2016). *BP Statiscal Review of World Energy 2016*. Disponible, en julio de 2017, en: <https://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/energy-economics/statistical-review-2016/bp-statistical-review-of-world-energy-2016-full-report.pdf>
- Celis, A. (2015). *Energías renovables en el mar: validación del uso de códigos CFD en el diseño de plataformas*. Bilbao: Universidad del País Vasco, Escuela Técnica Superior de Ingeniería, Proyecto de Fin de Carrera 2014-2015.
- Chikome, Y.N. (2017). *Energía undimotriz comercial: Suecia aprovecha la energía de sus olas*. Endesa: Twenergy, Ecología y Reciclaje, Gestión Ambiental.
- DBEDT (2002). *Feasibility of Developing Wave Power as a Renewable Energy Resource for Hawaii*. Honolulu: Department of Business, Economic Developtment, and Tourism. Disponible, en julio de 2017, en: <https://energy.hawaii.gov/wp-content/uploads/2011/10/Feasibility-of-Developing-Wave-Power-as-a-Renewable-Energy-Resource-for-Hawaii.pdf>

- EcoExploratorio (2017). *Olas y marejadas*. Museo de Ciencias de Puerto Rico. Disponible, en julio de 2017, en: <http://ecoexploratorio.org/vida-en-el-mar/mar-y-oceano/olas-y-marejadas/>
- EMEC (2016). *EMEC Billia Croo Grid-Connected Wave Test Site*. En: European Marine Energy Centre (EMEC). Disponible, en julio de 2017, en: <https://tethys.pnnl.gov/annex-iv-sites/emec-billia-croo-grid-connected-wave-test-site>
- ENOLA (2016). Visor web ENOLA. IDAE; Universidad de Cantabria, IH Cantabria. Disponible, en julio de 2017, en: <http://www.enola.ihcantabria.com/>
- Espedal, J. (2014). Robusto: convertidor semi-sumergido y flotante de energía undimotriz “made in Canarias”. *Revista Energética XXI*, 139: 14.
- Europa Press (2011). La Xunta regulará vía norma la energía producida por la energía de las olas. En: El Mundo. Disponible, en julio de 2017, en: <http://www.elmundo.es/elmundo/2011/08/05/galicia/1312551921.html>
- Europa Press (2015). *Bimep posicionara a Euskadi como “referente en energía marina”*. Deia, Noticias de Bizkaia. Disponible, en julio de 2017, en: <http://www.deia.com/2015/07/23/economia/inauguran-en-armintza-bimep-que-situara-a-euskadi-como-referente-en-energia-marina->
- FABER MAUNSELL and METOC (2007). Marine Renewables. Strategic Environmental Assessment (Sea). Non-Technical Summary. Report Prepared For The Scottish Executive. Disponible, en junio de 2017, en: https://tethys.pnnl.gov/sites/default/files/publications/Scottish_Marine_Renewables_SEA_Summary.pdf
- Fernández Díez, P. (2002). *Energía del mar: Técnicas que aprovechan la energía de las olas (II)*. En: Biblioteca sobre ingeniería energética. Disponible, en julio de 2017, en: <http://es.pfernandezdiez.es/?pageID=11>
- Fernández, S. (2017). *En Hawaii, generar electricidad con energía solar y almacenamiento ya es más barato que hacerlo con combustibles fósiles*. En: Diario Renovables. Disponible, en julio de 2017, en: <http://www.diariorenovables.com/2017/01/hawaii-generar-electricidad-energia-solar-almacenamiento-barato-combustibles-fosiles.html>
- Greenpeace (2005). *Renovables 2050: Un informe sobre el potencial de las energías renovables en la España Peninsular*. Greenpeace España.
- Greiffenstein, R. (2011). Escocia a la vanguardia en la generación de energía renovable producida por las olas y la marea. En: Vida + Verde, en 2011. Disponible, en julio de 2017, en: <http://vidamasverde.com/2011/escocia-a-la-vanguardia-en-la-generacion-de-energia-renovable-producida-por-las-olas-y-la-marea/>

- Grupo Undimotriz (2017). Buenos Aires: Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional, Grupo Undimotriz I+D+i. Disponible, en julio de 2017, en: <http://www.mecanica.frba.utn.edu.ar/energiaundimotriz/?lang=es&nocache&paged=12>
- HCEI (2017). *Hawaii Clean Energy Initiative*. Consultado, en julio de 2017, en: <http://www.hawaiiicleanenergyinitiative.org/>
- IDAE (2011a). *Estudios Técnicos PER 2011-2020: Evaluación del potencial de la energía de las olas*. Madrid: Ministerio de Industria, Energía y Turismo; Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE).
- IDAE (2011b). *Estudios Técnicos PER 2011-2020: Evolución tecnológica y prospectiva de costes de las energías renovables*. Madrid: Ministerio de Industria, Energía y Turismo; Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE).
- IDAE (2011c). *Plan de Energías Renovables (PER) 2011-20*. Madrid: Ministerio de Industria, Energía y Turismo; Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE).
- IDAE (2016). *Energías renovables: energías del mar*. Madrid: Ministerio de Industria, Energía y Turismo; Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE).
- IEA (2015). *Energy Policies of IEA Countries: Spain 2015 Review*. France: International Energy Agency (IEA).
- IEA (2016). *Energy Technology Perspectives 2016: Towards Sustainable Urban Energy Systems (Resumenejecutivo, Spanish translation)*. France: International Energy Agency (IEA).
- IEEE (2014). *Energía y Geoestratégica 2014*. Madrid: Ministerio de Defensa, Instituto Español de Estudios Estratégicos. , Cuadernos de Estrategia 166.
- INDEX MUNDI (2014). *Mapa comparativo de países. Consumo de electricidad per cápita*. Disponible, en julio de 2017, en: <https://www.indexmundi.com/map/?v=81000&l=es>
- INEGA (2017). *Instituto Energético de Galicia: Energías renovables*. Disponible, en julio de 2017, en: <http://www.inega.gal/enerxiasrenovables/domar.html>
- IPCC (2011). *Fuentes de Energías Renovables y mitigación del Cambio Climático*. Ginebra: Informe Especial del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC).
- Legaz Poignon, R. (2006). *Desarrollo de una planta de energía de las olas en el Cantábrico*. 2ª Jornada Internacional sobre Energía Marina del Ente Vasco de la Energía (EVE). Bilbao, 25 de enero.
- MAGRAMA (2012). *Estrategia Marina: Demarcación marina noratlántica*. Madrid: Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente, Parte V. Objetivos ambientales.
- MAPAMA (2015). *Cambio climático: Resultados de la COP21*. Madrid: Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente. Cumbre de cambio climático COP21.

- MIET (2015). *La Energía en España 2014*. Madrid: Ministerio de Industria, Energía y Turismo, Secretaría de Estado de Energía.
- MIET (2016). *La Energía en España 2015*. Madrid: Ministerio de Industria, Energía y Turismo, Secretaría de Estado de Energía.
- Pelissero, M.; Haim, A. y Tula, R. (1991). *Aprovechamiento de la energía undimotriz*. Buenos Aires: Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional de Buenos Aires, Departamento de Ingeniería Mecánica, Grupo I+D+i Energía Undimotriz.
- Perez-Collazo, C.; Astariz, S.; Abanades, J.; Greaves, D. and Iglesias, G. (2014). Co-located wave and offshore windfarms: a preliminary case study of an hybrid array. *Coastal Engineering Proceedings*, 34: 1-10. DOI: <https://doi.org/10.9753/icce.v34.structures.33>
- Protocolo de Kioto. (2005). *Instrumento de Ratificación del Protocolo de Kioto al Convenio Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, hecho en Kioto el 11 de diciembre de 1997*. BOE núm. 33, martes 8 febrero 2005, pp. 4131-4143.
- Ramos, R. (2011). *Energía undimotriz*. España: Eco Medio Ambiente: Blog sobre medio ambiente y reciclaje, en 2011. Disponible, en julio de 2017, en: <http://ecomedioambiente.com/energias-renovables/energia-undimotriz/>
- REVE (2011). *Galicia apuesta por la energía undimotriz*. En: Revista Eólica y del Vehículo Eléctrico. Disponible, en diciembre de 2017, en: <https://www.evwind.com/2011/08/07/galicia-apuesta-por-la-energia-undimotriz/>
- REE (2016). *Red Eléctrica de España*. Consultado, en octubre de 2016, en: <http://www.ree.es/es/#>
- REN21 (2016). *Energías renovables 2016: reporte de la situación mundial. Hallazgos clave 2016*. Francia: REN21, 2016.
- Reynal, V. (2009). *Hawai: ¿Paraíso sustentable?* En: Sustentator. Disponible, en julio de 2017, en: <http://www.sustentator.com/blog-es/2009/09/hawai-paraso-sustentable/>
- Roca, J.A. (2015). El Reino Unido alcanza una cuota record de producción renovable del 22,3%. En: El periódico de la energía, en 2015. Disponible, en julio de 2017, en: <http://elperiodicodelaenergia.com/el-reino-unido-alcanza-una-cuota-record-de-produccion-renovable-del-223/>
- Rousseau, N. (2010). *Oceans of energy: European Ocean Energy Roadmap 2010-2050*. ICOE. Disponible, en julio de 2017, en: https://www.icoe-conference.com/publication/oceans_of_energy_european_ocean_energy_roadmap_2010_2050/
- Sánchez García, J.M. (2011a). *Iberdrola quiere aprovechar la energía de las olas en Escocia*. En: EOI, Escuela de Organización Industrial. Disponible, en julio de 2017, en: <http://www.eoi.es/blogs/juanmiguelsanchez/2011/11/13/iberdrola-quiere-aprovechar-la-energia-de-las-olas-en-escocia/>

- Sánchez García, J.M. (2011b). *Canarias se convierte en un laboratorio de energía undimotriz*. En: EOI, Escuela de Organización Industrial. Disponible, en julio de 2017, en: <http://www.eoi.es/blogs/mermesev/2011/11/13/canarias-se-convierte-en-un-laboratorio-de-energia-undimotriz/>
- Schallenberg Rodríguez, J.C. (2000). Las energías renovables en Canarias: implementación, estrategias y perspectivas. En: Seminarios sobre Sustentabilidad: implicaciones económicas y medioambientales. Canarias: Instituto Tecnológico de Canarias, Centro de Investigación en Energía y Agua.
- The New York Times (2009). *Hawaii tries Green tools in remaking power grids*. The New York Times, F. Barringer, Environment. Edición digital, 14 de septiembre. Disponible, en julio de 2017, en: http://www.nytimes.com/2009/09/15/science/earth/15hawaii.html?_r=1
- ONU (2015). *Resolución 70/1. Transformar nuestro mundo: Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible*. Naciones Unidas, Asamblea General, Resolución aprobada el 25 de septiembre de 2015, A/RES/70/1.
- PROEXCA (2014). *Empresa noruega pretende instalar plantas de energía undimotriz en Tenerife*. Tenerife: Gobierno de Canarias, Sociedad Canaria de Fomento Económico (PROEXCA). Disponible, en junio de 2017, en: <http://www.proexca.es/Publicaciones/tabid/526/Post/7213/Empresa-noruega-pretende-instalar-plantas-de-energ%C3%ADa-undimotriz-en-Tenerife>
- UNESCO (2017). *Educación: Desarrollo Sostenible*. En Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO).
- Valdés, J. (2016). Evolución y consistencia en la política de seguridad energética de la UE: los Proyectos de Interés Común. *Papeles de Europa*, Vol. 29, 2: 69-23.
- Vates, A. (2009). *Sistemas de conversión de la energía de las olas*. Firenze: Università degli studi di Firenze, Facoltà di Ingegneria, Proyecto Fin de Carrera 2008-2009 (Dir. Lorenzo Cappiotti).
- Vega, L. (2017) *Wave Energy Test Site (WETS)*. Hawaii National Marine Renewable Energy Center.
- Vidal, C. (2008). El papel de las energías marinas en las energías renovables. En: *IV Jornadas Nacionales y II Internacionales sobre Naturaleza y Medio Ambiente*.
- WEC (2013). *Recursos energéticos globales. Encuesta 2013: Resumen*. United Kingdom: World Energy Council.
- Whittaker, T.J.T.; Beattie, W.; Folley, M.; Boake, C.; Wright, A. and Osterried, M. (2004). The Limpet Wave Power Project – the first years of operation. *Renewable Energy – Whittaker*. Belfast: Faculty of Engineering, Queen's University Belfast.
- WWF España (2015). *Observatorio de la Electricidad Año 2015*. Madrid: WWF España.