



**Universitat de les  
Illes Balears**

**Título: Respuestas a los impactos derivados de la  
generación de energía eléctrica: el caso de los  
aerogeneradores marinos.**

Autor: Francisca Vidal Perelló.

Licenciada en Geografía.

**Memoria del Trabajo de Fin de Máster**

Máster Universitario en Análisis, Planificación y Gestión de Áreas Litorales.

De la

UNIVERSITAT DE LES ILLES BALEARS

Curso Académico: 2013 – 2014.

*Fecha: febrero 2014*

*Firma del autor:*

*Nombre Tutor del Trabajo: Dr. José Ramón Bergueiro*

*Firma del tutor:*

*Aceptado por la Directora del Máster Universitario en Análisis, Planificación y Gestión en Áreas Litorales: Dra. Joana Maria Seguí,*

*Firma de la directora:*

## ÍNDICE GENERAL

<b>Resumen.....</b>	<b>3</b>
<b>Objeto del trabajo.....</b>	<b>4</b>
<b>Introducción.....</b>	<b>5</b>
<b>Parte teórica.....</b>	<b>21</b>
<b>Parte experimental.....</b>	<b>35</b>
<b>Matrices de impacto ambiental.....</b>	<b>42</b>
<b>Conclusiones.....</b>	<b>47</b>
<b>Bibliografía.....</b>	<b>49</b>

## **RESUMEN.**

Se propone la utilización de aerogeneradores marinos para reducir la importación de carbón y crudos de petróleo, utilizados en las Islas Baleares para la generación de energía eléctrica.

Se analiza la variación con el tiempo de la demanda energética de crudos de petróleo y gas natural desde el año 2010 hasta el 2035, para Japón, India, China, Estados Unidos y Unión Europea.

Se examina la evolución de la producción interior de energía en España y su grado de autoabastecimiento, comprobando el gran incremento que se produce desde el año 1990 hasta el año 2010, llegando a ser del orden del ochenta por ciento.

Se estudia la evolución de las fuentes de energía utilizadas en España para la generación de energía eléctrica, observándose para el gas natural un incremento de la demanda desde el 9%, en el año 1999, hasta un 39% en el año 2008. Con respecto a las energías renovables el orden de variación es del 15% hasta el 25%. Para el caso de las Islas Baleares la variación ha sido del 0,47% en el año 2009 hasta el 2,82% en el año 2010, debido a la instalación del gaseoducto de interconexión de la Península con las Islas Baleares.

Se estudian los criterios y los posibles impactos ambientales que se puedan ocasionar durante la construcción, el funcionamiento y el desmantelamiento de los aerogeneradores marinos, proponiéndose una serie de soluciones para minimizar dichos impactos.

Se han construido las matrices de identificación de impactos de grasas y aceites, utilizados en los sistemas de lubricación y refrigeración de un aerogenerador, sobre peces, crustáceos y moluscos, aves marinas y terrestres, mamíferos marinos, algas, plancton, organismos bentónicos, personas, navegación y estructuras artificiales.

Se ha determinado la Vulnerabilidad (Índice y Grado), la Resiliencia (Índice, Grado y Tiempo de Resiliencia) y la Recuperación Inducida, por medios mecánicos, por medios químicos y por medios biológicos, de las estructuras utilizadas como base de aerogeneradores marinos susceptibles de ser afectadas por vertidos de grasas y aceites.

Mediante el Modelo S.O.N.I.A. se calcula la longitud de las barreras necesarias para evitar que los vertidos de grasas y aceites, procedentes de un aerogenerador, se esparzan en el mar. Igualmente se calcula el coste de dichas barreras y el de los carreteles necesarios para su almacenamiento, despliegue y recuperación.

Mediante el Modelo AHUYENTADORES 2 se calcula el número de ahuyentadores necesarios para evitar que un determinado número de pájaros marinos impacten en un parque eólico marino.

## **OBJETO DEL TRABAJO.**

El objetivo del presente trabajo es el de analizar los impactos ambientales que puedan originarse tanto durante la fase de construcción como durante la explotación y desmantelamiento de los aerogeneradores marinos. Se han seleccionado una serie de criterios ambientales y socioeconómicos mediante los cuales se pueden estimar los impactos que puedan generarse. Se analiza la problemática derivada de los vertidos de grasas y aceites procedentes de los sistemas de lubricación y refrigeración de los aerogeneradores. Se analiza todo lo referente a los incendios en las góndolas de los aerogeneradores. Igualmente se trata todo lo concerniente a los impactos en el paisaje, en la calidad del agua, en el ruido, en los hábitats marinos, en el bentos, en los espacios naturales protegidas, en la fauna avícola, en las actividades socioeconómicas y en los usos recreativos de la zona marina que ubique un parque eólico. Se construyen una serie de matrices mediante las cuáles se estima la relación entre los componentes físicos, biológicos y socioeconómicos y las acciones impactantes durante la fase de construcción, explotación y desmantelamiento de un aerogenerador, para determinar su grado de impacto ambiental. Finalmente, se propone un procedimiento para mitigar los efectos adversos que puedan ocasionar los aerogeneradores marinos en el medio ambiente circundante.

## **Respuestas a los impactos ambientales derivados de la generación eléctrica: el caso de los aerogeneradores marinos.**

### *Parte 1*

## **INTRODUCCIÓN.**

La EIA (Administración de Información de Energía de EE.UU), estima que el consumo mundial de energía aumentará un 56% en los próximos 30 años, debido al crecimiento de países en vías de desarrollo, como China e India.

Según la EIA el crecimiento de la demanda en las últimas décadas se ha originado principalmente en los países miembros de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE). Por otra parte el incremento en el consumo de energía en todas las economías emergentes ha sido significativo en los últimos años.

La demanda hasta el año 2040 en los países no pertenecientes a la OCDE puede llegar a ser del orden del 90%, mientras que el crecimiento en los países miembros de la OCDE dicho incremento sería del orden del 17%.

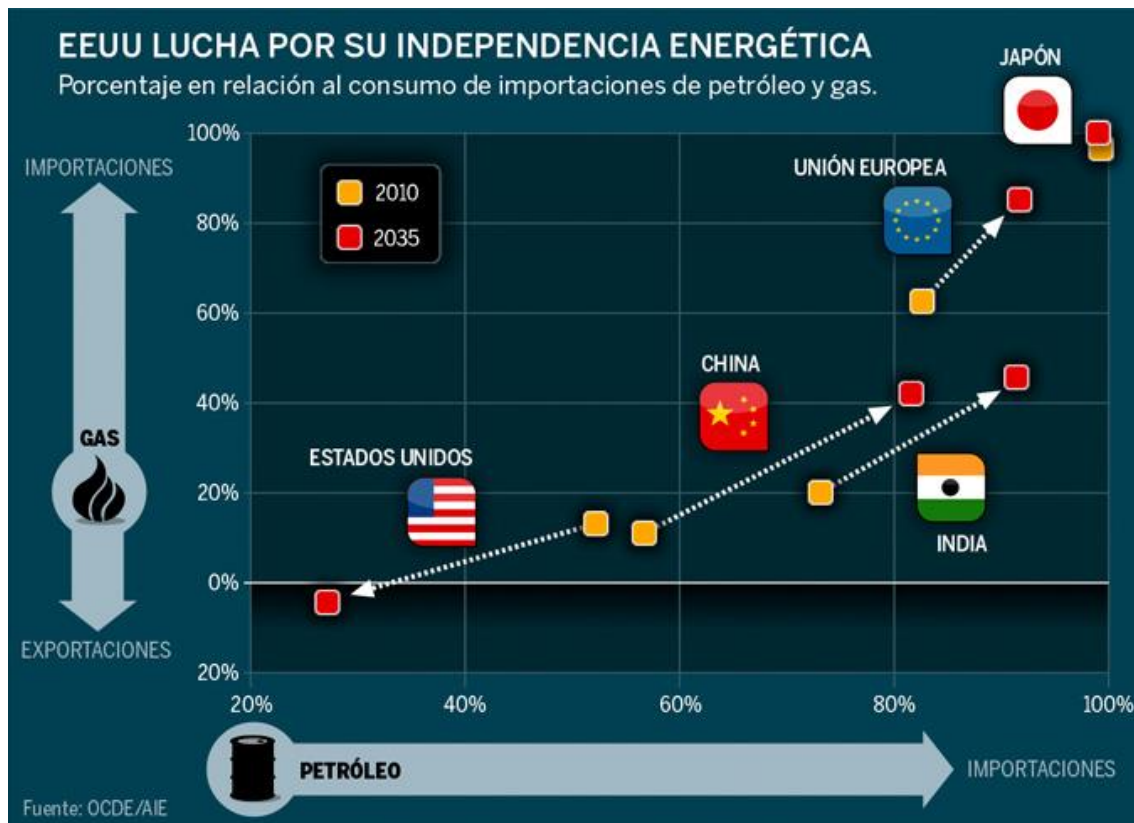
Por otro lado la EIA destaca que determinados tipos de energía renovable como la producida por paneles solares y la generada mediante procesos nucleares son las fuentes de energía que han tenido un más rápido crecimiento a nivel global, estimándose un aumento de producción del orden del 2,5% anual. No obstante el consumo de energía producido por combustibles fósiles seguirá siendo del orden del 80% para el año 2040.

Los dos países mayores productores de gas natural en el futuro serán Estados Unidos y Rusia. Dicha producción, según el EIA, se incrementará en 12 billones de pies cúbicos para el año 2040, con respecto al año 2010.

En el Esquema 1, se muestra por países la variación de la dependencia energética desde el año 2010 hasta el 2035, para el petróleo y el gas natural. Con lo que respecta a la demanda de petróleo desde el 2010 al 2035 Japón no generará una demanda significativa.

Con respecto a la Unión Europea la demanda de petróleo se incrementará desde el 83% hasta un 92% aproximadamente. Para la India la demanda pasará del 73% hasta el 92%. En el mismo período de tiempo la variación de la demanda en China se incrementará desde el 57% hasta el 83%. Finalmente para Estados Unidos la demanda de petróleo pasará de un 53% a solamente un 28%.

Con respecto a la demanda de gas natural las variaciones son las siguientes. Para Japón el incremento de demanda de gas natural es solamente de un 6%. Por lo que respecta a la Unión Europea su demanda sufre un incremento del 20%. Porcentaje similar es el que tendrá la India. Con respecto a la China el incremento de la demanda será del 30%. Finalmente Estados Unidos pasará de consumir un 14% a exportar un 6%.



Esquema 1. Porcentaje en relación al consumo de importaciones de petróleo y gas natural.

Fuente: OCDE, Organization for Economic Co-operation and Development, <http://www.oecd.org/>

Las Islas Baleares, al igual que la Península, dependen energéticamente de otros países que les abastecen en petróleo y en gas natural. Por otra parte el reparto desigual geográfico crea una dependencia energética de los países que no poseen dichos recursos naturales y buscan en otras fronteras éstos para abastecer el consumo demandado.

En las Islas Baleares al ser un archipiélago, su superficie es limitada y los recursos naturales que poseen son más bien escasos. Dicho así el archipiélago se ve obligado a suministrar energéticamente a su población dependiendo del carbón y petróleo que procede de la Península y de otros países.

Las consideraciones geopolíticas y económicas juntamente con los problemas medioambientales, hacen replantear si hay un problema de dependencia energética debido al incremento del porcentaje en relación al consumo de importaciones de petróleo y gas. A dicha problemática se podría considerar la posibilidad de desarrollar e investigar en cierto tipo de energías renovables.

En el caso de las Islas Baleares la limitación del terreno puede ser un factor que no ayude al desarrollo de las energías renovables, pero hay que tener en cuenta la ubicación de nuevas instalaciones en el mar. La generación de electricidad mediante aerogeneradores instalados en el mar puede ser una buena vía para solucionar el problema de dependencia energética balear.

Según la publicación de López González et al. (2010), *“Las energías renovables marinas”* en el congreso de CONAMBA 10. Congreso Nacional del Medio Ambiente (2010). *“La Unión Europea se ha comprometido a transformar Europa en una economía de alta eficiencia energética con bajas emisiones de gases de efecto invernadero, con objetivos para 2020 de reducción del 20% de emisiones, de reducción del 20% de consumo de energía y de disponer de un 20% de energía renovable, con el beneficio social del desarrollo de las actividades de I+D y creación de empleos”*.

*En la pp. 5 del pdf de dicho Congreso (UK Marine Foresight Panel, 2000), se indica: “Si sólo un 1% de la energía renovable del océano pudiera ser convertida en electricidad, satisfaría cinco veces la demanda actual energética del mundo”*. Con dicha afirmación no es de extrañar que la Unión Europea durante los últimos años haya investigado en las fuentes de energía renovables, para solucionar una problemática geopolítica, económica y ambiental que hace el territorio europeo dependiente energéticamente.

A nivel estatal, el Plan de Acción Nacional de Energías Renovables de España 2011 - 2020, (PANER, 2010), tiene por objetivo que las fuentes renovables representen en España un 20% del consumo de energía final para el año 2020, junto a una contribución del 10% de fuentes de energía renovable en el transporte. Este porcentaje viene marcado por la Directiva de 2009/28/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de abril de 2009, que manifiesta lo siguiente; *“el fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables, fija como objetivos generales conseguir una cuota del 20 % de energía procedente de fuentes renovables en el consumo final bruto de energía de la Unión Europea (UE) y una cuota del 10 % de energía procedente de fuentes renovables en el consumo de energía en el sector del transporte en cada Estado miembro para el año 2020”*.

Por lo que respecta al Estado Español, el Real Decreto 661/2007 de 25 de mayo, regula la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial y prevé la elaboración del PANER, 2010.

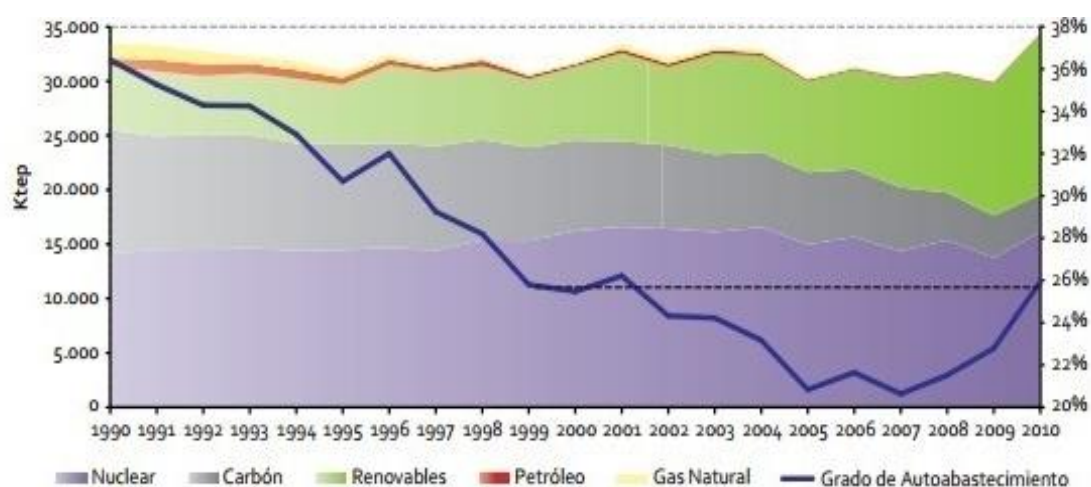
La Unión Europea y sus estados miembros, como es el caso de España, dependen energéticamente de países del continente africano y de Oriente Medio. Hasta hace relativamente poco tiempo el suministro de recursos fósiles como petróleo, gas natural y carbón a los países occidentales no resultaba una gran problemática, pero en las últimas décadas se han sumado varios factores que han dado lugar a un nuevo enfoque de política energética. Los factores que han condicionado a este cambio son:

- El incremento del precio del petróleo.
- La disminución de las reservas de combustibles fósiles.
- La desigual distribución geográfica de las reservas de combustibles fósiles.
- El intenso proceso de crecimiento de los países emergentes que han aumentado los precios y la inflación sobre las fuentes de energía primaria.

Según el Plan de Acción Nacional de Energías Renovables de España 2011 – 2020, (PANER, 2010), *“En España hay una elevada dependencia energética. La escasa presencia de yacimientos de energía primaria fósil ha supuesto históricamente una elevada tasa de dependencia energética en España. Esta mayor dependencia introduce fuentes de riesgo adicionales sobre los procesos productivos, como los relacionados con la garantía del suministro energético o con la volatilidad de los precios de los mercados internacionales”*. Precisamente para disminuir la elevada dependencia energética la Unión Europea y los estados miembros como España han puesto en marcha el Plan de Acción Nacional de Energías Renovables, (PANER, 2010), con la finalidad de disminuir el porcentaje de dependencia energética y optar hacia una vía donde la energía sea más eficiente y equilibrada con el medioambiente, la economía y la sociedad.

Según el Plan de Acción Nacional de Energías Renovables de España 2011 - 2020, (PANER, 2010), *“España se caracteriza, desde un punto de vista energético, por presentar una estructura de consumo dominada por la presencia de productos petrolíferos, importados en su mayoría del exterior, lo que, junto a una reducida aportación de recursos autóctonos, ha contribuido a una elevada dependencia energética, lo que se traduce en un reducido grado de autoabastecimiento. Esta situación experimenta un cierto cambio de tendencia a partir del año 2005, en el marco de las políticas actuales de planificación en materia de energías renovables y de eficiencia energética, que han posibilitado una mayor penetración de energías renovables en la cobertura a la demanda interior, y con ello, un aumento en el grado de autoabastecimiento”*.

El Esquema 2, presenta la evolución de la Producción Interior de Energía y del Grado de Autoabastecimiento, des del año 1990 hasta el 2010. Se aprecia como el consumo de las fuentes de energías convencionales, o combustibles fósiles, como el carbón, el petróleo y el gas natural, han ido disminuyendo. Por otra parte el grado de autoabastecimiento ha ido disminuyendo notablemente hasta el año 2005 y sobre todo a partir del 2007 con un notable incremento debido a la apuesta y cambio de política energética hacia las energías renovables.





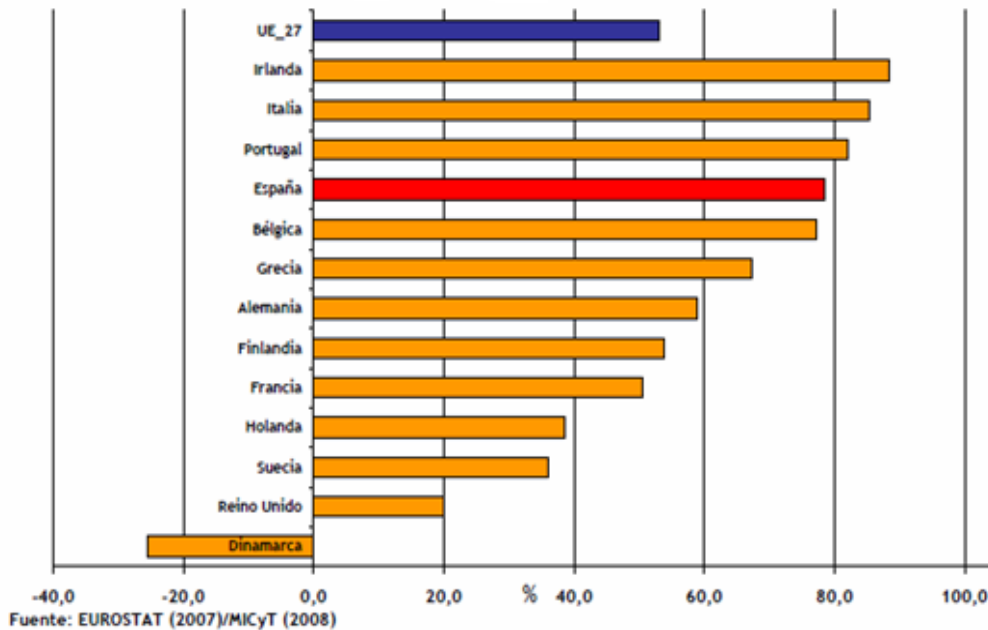
Esquema 2. Evolución de la Producción Interior de Energía y del Grado de Autoabastecimiento, (1990 – 2010). Fuente: [http://www.gasnaturalfenosa.es/servlet/ficheros/1297134802604/Produccion\\_Energia\\_Autoabastecimiento.jpg](http://www.gasnaturalfenosa.es/servlet/ficheros/1297134802604/Produccion_Energia_Autoabastecimiento.jpg)

El modelo indica, por una parte que España, tiene una problemática de dependencia energética y autoabastecimiento bastante considerable. Por otra parte dicho modelo lleva a una situación insostenible. El estado actual de la problemática de la dependencia energética y las tendencias presentes preocupan a la Unión Europea. Según el (PANER, 2010), *“el consumo mundial de energía de aquí al 2030 aumentará alrededor del 40%. Según las previsiones de la Agencia Internacional de la Energía (AIE), el incremento es debido fundamentalmente a la creciente demanda de las economías emergentes, especialmente China e India, que representarán más del 50% del incremento de la demanda. En este entorno, los combustibles fósiles seguirán aportando el 80% de la demanda energética mundial desplazándose su consumo a Asia y el Oriente Medio, dónde se localizará la mayor parte del incremento de la demanda de gas natural”*.

Otro punto preocupante y que destaca, el (PANER, 2010) es el siguiente. *“Las previsiones al alza de la demanda energética, junto con la redistribución geográfica del consumo, mermarán las reservas de energías fósiles e impulsarán al alza los precios de las mismas como consecuencia de un mayor desequilibrio de la oferta-demanda. Adicionalmente, es previsible un mayor impacto ambiental derivado del incremento de emisiones de gases de efecto invernadero asociadas al mayor consumo energético de combustibles fósiles. La Unión Europea, cuya dependencia energética alcanza actualmente el 53%, ve como viene aumentando su consumo energético, al igual que sus importaciones energéticas y observa con preocupación las tendencias actuales”*.

Por lo que respecta al estado Español, según datos extraídos del (PANER, 2010), presenta una dependencia exterior cercana al 80%, una cifra preocupante sobretodo si se tienen en cuenta el encarecimiento de las fuentes primarias como el petróleo.

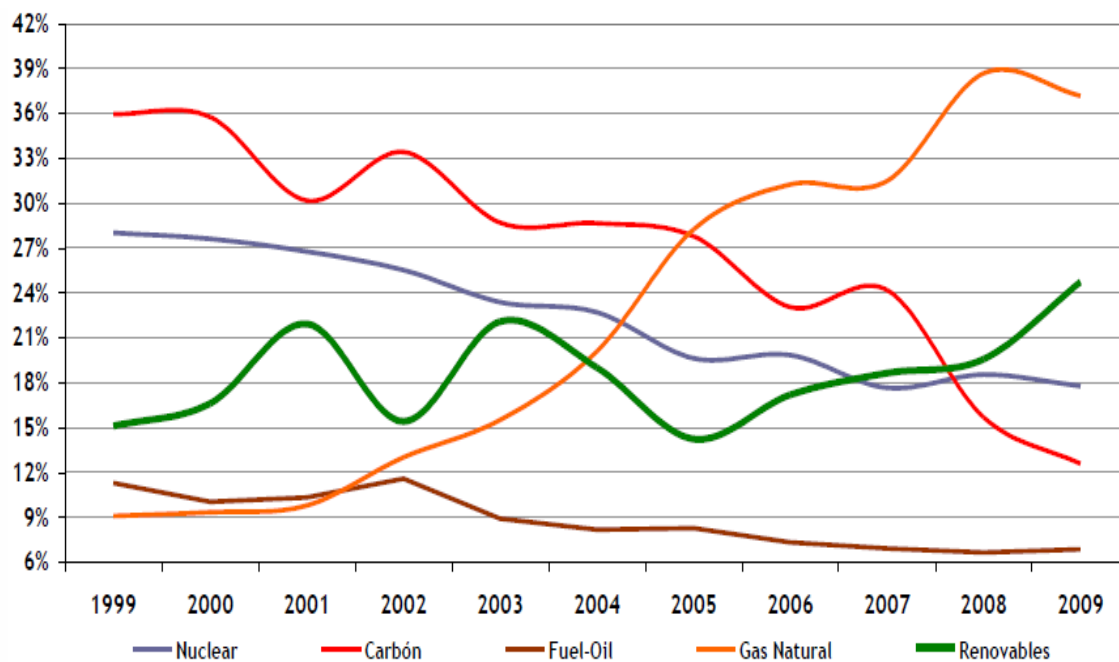
El Esquema 3, presenta la dependencia energética de los países de la Unión Europea en el año 2007/2008.



Esquema 3. Dependencia energética UE27, 2007/2009. Fuente: Plan de Acción Nacional de Energías Renovables de España 2011 - 2020, (PANER, 2010). [http://www.mityc.es/energia/desarrollo/EnergiaRenovable/Documents/20100630\\_PANER\\_Espanaversio\\_n\\_final.pdf](http://www.mityc.es/energia/desarrollo/EnergiaRenovable/Documents/20100630_PANER_Espanaversio_n_final.pdf)

Por lo que respecta a la utilización de las materias primas para la generación de electricidad en España las principales materias primas utilizadas son las siguientes: uranio, carbón, fueloil, gas oil y gas natural. Por otra parte a nivel comunitario, en las Islas Baleares, el fueloil y el gas oil están prácticamente en desuso y el carbón en vías de desaparecer, substituido por el gas natural.

En el Esquema 4, se puede apreciar la participación evolutiva de las distintas fuentes de energía en la generación eléctrica a nivel estatal. Se observa como las energías renovables, juntamente con el gas natural, están desde el 2005 al alza, mientras que por lo contrario el resto de fuentes está decayendo considerablemente, sobretodo un decrecimiento notable en el carbón. Por otra parte las fuentes de energías renovables desde el año 2008 están experimentando un mayor crecimiento.



Fuente: IDAE/MITYC

Nota: Bombeo excluido de la producción eléctrica renovable a partir de 2005

Esquema 4. Evolución de las fuentes de energía en la generación eléctrica, nivel estatal. Fuente: Plan de Acción Nacional de Energías Renovables de España 2011 - 2020, (PANER, 2010). [http://www.mityc.es/energia/desarrollo/EnergiaRenovable/Documents/20100630\\_PANER\\_Espanaversio\\_n\\_final.pdf](http://www.mityc.es/energia/desarrollo/EnergiaRenovable/Documents/20100630_PANER_Espanaversio_n_final.pdf)

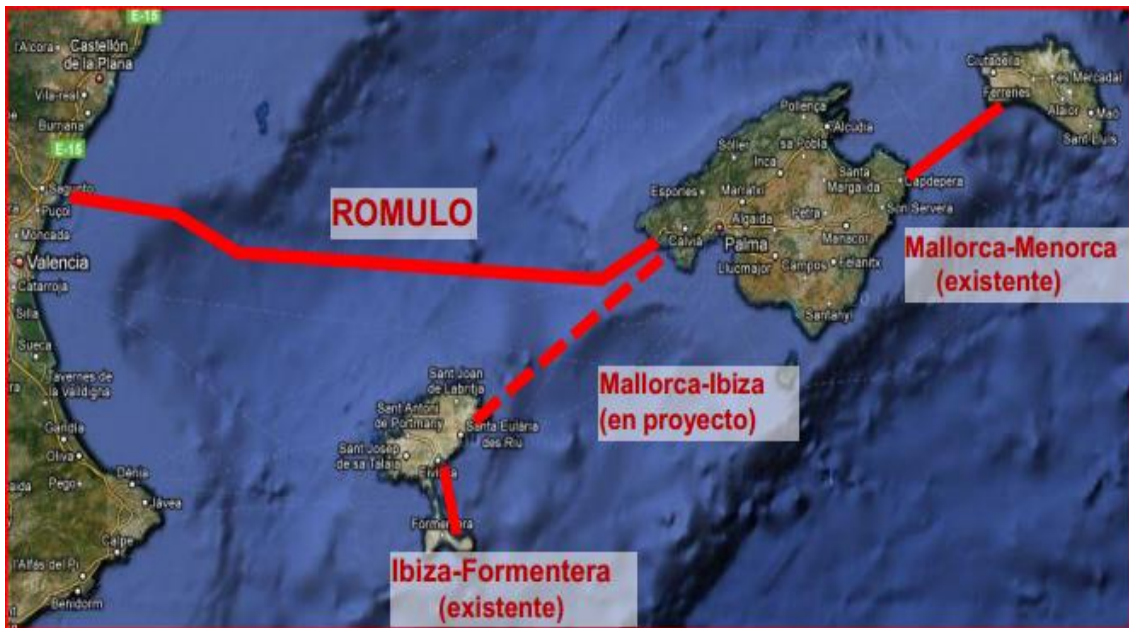
Desde hace ya bastante tiempo la generación de energía eléctrica en las Islas Baleares procedía de la combustión de carbón, fueloil y gasoil.

Dado el incremento de la demanda de energía eléctrica en las Islas Baleares se decidió conectarlas con la Península mediante un cable eléctrico. El proyecto se denominó “Proyecto Rómulo” y está operativo en la isla de Mallorca desde el verano del 2012.

Igualmente desde septiembre del 2009 la isla de Mallorca se encuentra conectada con la Península mediante un gaseoducto. Este gaseoducto además de subministrar gas natural a toda la isla de Mallorca suministrará igualmente al resto de las islas.

En fechas próximas la totalidad de la energía eléctrica que se genere en las Islas Baleares será a base de la combustión del gas natural, dejando de importarse carbón y fueloil.

El Esquema 5, muestra el trazado del tendido eléctrico correspondiente al “Proyecto Rómulo”.



Esquema 5. Sistema de cableado eléctrico del Proyecto Rómulo, (2012). Fuente: Proyecto Rómulo. <http://electronica.uc3m.es/geste/ROMULO.pdf>

Según las Estadísticas Energéticas de las Islas Baleares, (2010), la utilización del gas natural para la generación de electricidad ha supuesto un incremento en el consumo bruto, pasando de un 0,47% a un 2,82% respecto al año 2009 donde empezó el funcionamiento del gaseoducto de interconexión con la Península y las Baleares.

Existen en total seis centrales en el archipiélago que se encargan de subministrar energía eléctrica. Dichas centrales son las siguientes.

1. Es Murterar. Situada Alcúdia, (Mallorca), de carbón y turbinas de gas.
2. Ca's Tesorer. Ubicada en Palma, (Mallorca), de turbinas de gas y ciclo combinado
3. Son Reus. Ubicada en Palma, (Mallorca), de turbinas de gas y ciclo combinado.
4. Mahón. Ubicada en Mahón (Menorca), de turbinas de gas y diésel.
5. Ibiza. Ubicada en Ibiza, de turbina de gas y diésel.
6. Formentera. De turbinas de gas.

En cuanto a las energías renovables en las Islas Baleares solo se producen y se consumen en las islas de Mallorca y Menorca, donde las dos fuentes son la eólica terrestre y la fotovoltaica. En la Isla de Mallorca la producción de energía eólica terrestre es prácticamente inexistente. Sin embargo en la isla de Menorca existe al parque eólico terrestre es Milà, ubicado en el municipio de Mahón. El parque eólico de es Milà, cuenta con cuatro aerogeneradores, que fueron construidos entre los años 2003 y 2004, con una producción anual de 3.200 KW, lo que proporciona energía para aproximadamente 2.000 viviendas.

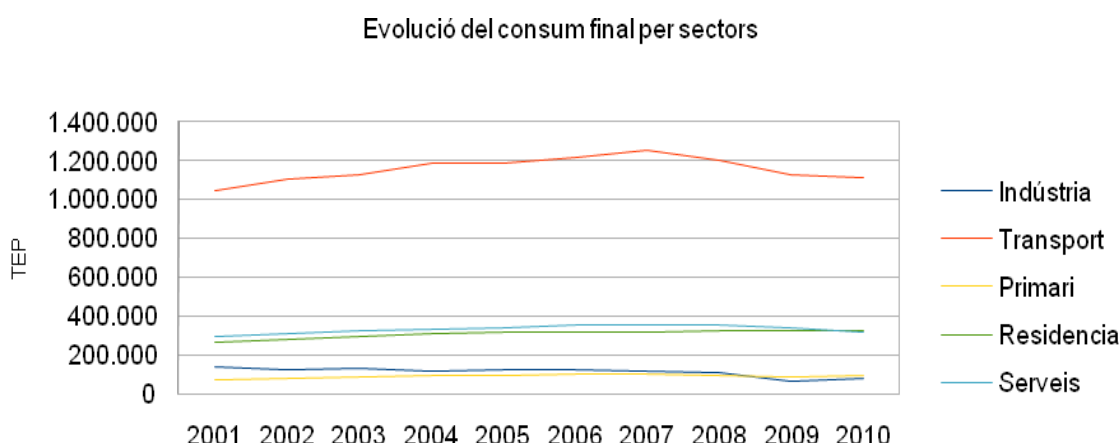
Según Estadísticas Energéticas de las Islas Baleares, (2010), la energía producida por fuentes renovables, solar fotovoltaica, eólica y biomasa supuso un 1,42% del consumo bruto y el 2,6% del consumo final.

Por otra parte las principales actividades que consumen mayoritariamente la energía generada en las Islas Baleares se destinan a:

- La industria.
- Al transporte.
- Al sector primario.
- Al sector terciario o de servicios.
- Al residencial.
- Los servicios públicos.

El transporte, con un 57,98%, seguidamente del sector residencial con un 16,68% y el de servicios, con un 16,42% , son los que originan un mayor consumo final por sectores. Tiene su lógica que sean los sectores de mayor consumo, si tenemos en cuenta que la base económica del archipiélago es el turismo y los servicios que se ofrecen a los turistas.

El Esquema 6 muestra la evolución con el tiempo del consumo de energía para diferentes sectores de las Islas Baleares.



Esquema 6. Evolución con el tiempo del consumo de energía, en TEP, (Toneladas Equivalentes de Petróleo), para diferentes sectores de las Islas Baleares. Fuente: Estadísticas Energéticas de las Islas Baleares, (2010).

<http://www.caib.es/sacmicrofront/contenido.do?mkey=M0807081137367224693&lang=CA&cont=7491>

Con la llegada del gas natural se espera que el consumo de carbón, productos petrolíferos ligeros y pesados, disminuyan considerablemente. Aún así la utilización del gas natural como sustituto del carbón no garantiza la solución a la problemática de la dependencia energética que padecen las Islas Baleares y el Estado Español.

Una posible solución que garantiza un consumo sostenible, y daría lugar a una disminución considerable a la problemática de la dependencia energética, vendría dada por la potenciación de las energías renovables.

Se denomina energía renovable a la energía que se obtiene mediante recursos o fuentes naturales inagotables, debido a que la materia prima que se obtiene es capaz de regenerarse por medios naturales en una escala temporal breve. Los principales tipos de energías renovables son los siguientes:

- Energía hidráulica.
- Energía solar térmica.
- Energía solar fotovoltaica.
- Energía de la biomasa.
- Energía eólica.
- Energía geotérmica.
- Energía térmica de los océanos.
- Energía undimotriz.

Un parque eólico “*offshore*” consiste en la instalación de aerogeneradores ubicados en el mar, para captar la energía del viento, que es el elemento mediante el cual los aerogeneradores convierten la materia prima en energía eléctrica.

Los parques eólicos “*offshore*” suponen un gran avance tecnológico debido a que en el mar no hay obstáculos, por lo que el rozamiento es menor. Esto significa que la velocidad del viento es mucho mayor en el mar que no en tierra, dando lugar a una mayor producción de electricidad con aerogeneradores situados en el mar que con aerogeneradores situados en la superficie terrestre.

El primer parque eólico “*offshore*” fue construido en el año 1996 en los Países Bajos, con la finalidad de potenciar el desarrollo de las energías renovables. Posteriormente a esta iniciativa se sumaron países como Dinamarca, Reino Unido y Suecia.

En el año 2011, se plantea el Proyecto AZIMUT, Energía Eólica “*Offshore*” 2020, con el objetivo de generar la tecnología y el conocimiento para investigar y desarrollar aerogeneradores marinos de gran tamaño con una potencia de unos 15 MW. Se prevé que a partir del año 2020 estén listos y operativos. Igualmente se estima sean construidos con tecnología 100% española.

Las empresas que participan en el proyecto son: Alstom Wind, Acciona, Windpower, Iberdrola Renovables, Acciona Energía, Técnicas Reunidas, Igeteam, Ingeciber, Imatia, Tecnitest Ingenieros y Digsilent Ibérica. El proyecto AZIMUT, se centra en mejorar la captura de la energía eólica offshore, y de estudiar los efectos que pueden generar los aerogeneradores durante la construcción, operación y mantenimiento de los enclaves.

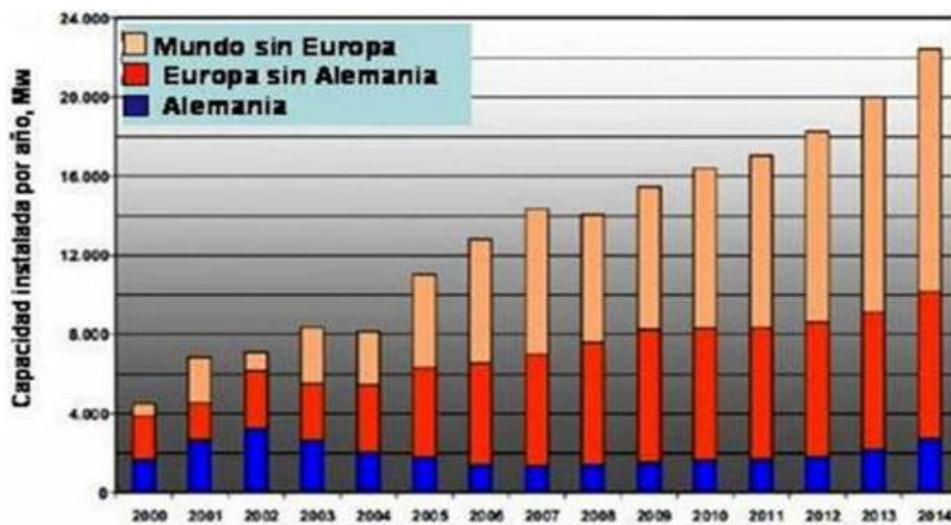
El Esquema 7 muestra un mapa con la ubicación los principales parques eólicos “*offshore*” de Europa, que pueden servir de referencia y son los impulsores en la instalación y la investigación de esta nueva fuente de energía renovable como es la eólica “*offshore*”.





Esquema 7. Ubicación de los principales parques eólicos offshore en Europa. Fuente: *Proyecto AZIMUT Energía Eólica “Offshore” 2020*, (2011). <http://www.ba.ieo.es/investigacion/grupos-de-investigacion/resmare/proyectos/750-azimut>

El esquema 8, muestra una comparación de la capacidad a instalada por año (Mw) a nivel mundial, europeo sin Alemania y de Alemania. El aumento de la capacidad instalada se explica en primer lugar debido a que las energías convencionales o fósiles tienen cada vez un costo mayor. Igualmente de está produciendo una disminución de las reservas de combustibles fósiles. Estos dos factores explicarían que de cada vez sean más los países que se sumen en la explotación de la energía eólica, apostando por una energía limpia y renovable.



Esquema 8. Potencia instalada en Alemania, en Europa sin Alemania y en el mundo desde el año 2000. Fuente: Asociación Empresarial Eólica, (AEE). <http://www.aeeolica.org/>

Por lo que respecta al estado Español se está tramitando la solicitud de ocupación de dominio público marítimo terrestre para la instalación de cuatro aerogeneradores. Se trata del “Proyecto ZEFIR” que pretende experimentar durante 20 años, tecnología que sirva para desarrollar la implantación de parques eólicos offshore en alta mar.

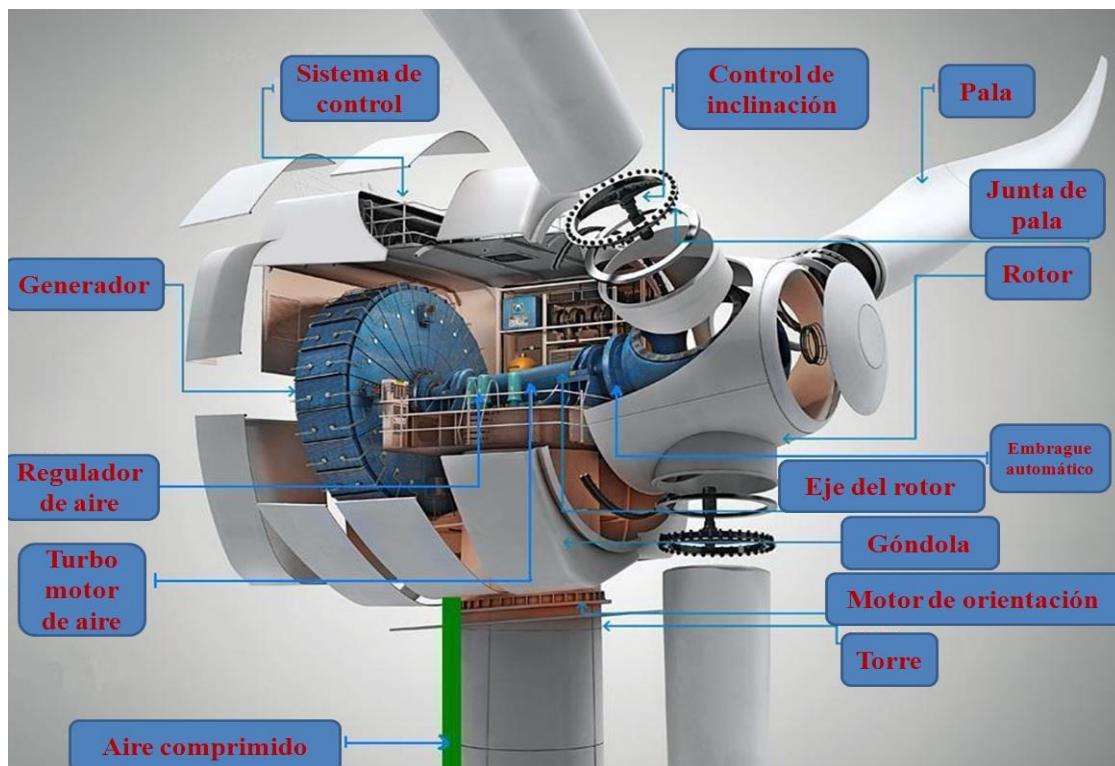
Por lo que respecta a los elementos y al funcionamiento de un parque eólico, el aerogenerador es la parte esencial de la torre eólica ya que su sistema mecánico es el encargado de capturar el recurso energético, en este caso el eólico, para poder posteriormente transformar la materia prima en energía.

Por lo tanto el aerogenerador, es el primer elemento de toda la cadena que forma el parque eólico offshore.

Según el “*Estudio técnico – financiero sobre la construcción de un parque eólico marino flotante en el litoral español*, (Bernardino Couñago, Lorenzo Ramón Barturen Antépara e Ignacio Díaz Huerta, 2010), las características funcionales que debe de tener un aerogenerador de 5MW son las siguientes:

- Diámetro del rotor: 124 metros.
- Peso de la torre: 300 toneladas.
- Peso de la góndola: 401 toneladas.

El esquema 9, muestra las partes mecánicas de una turbina eólica.



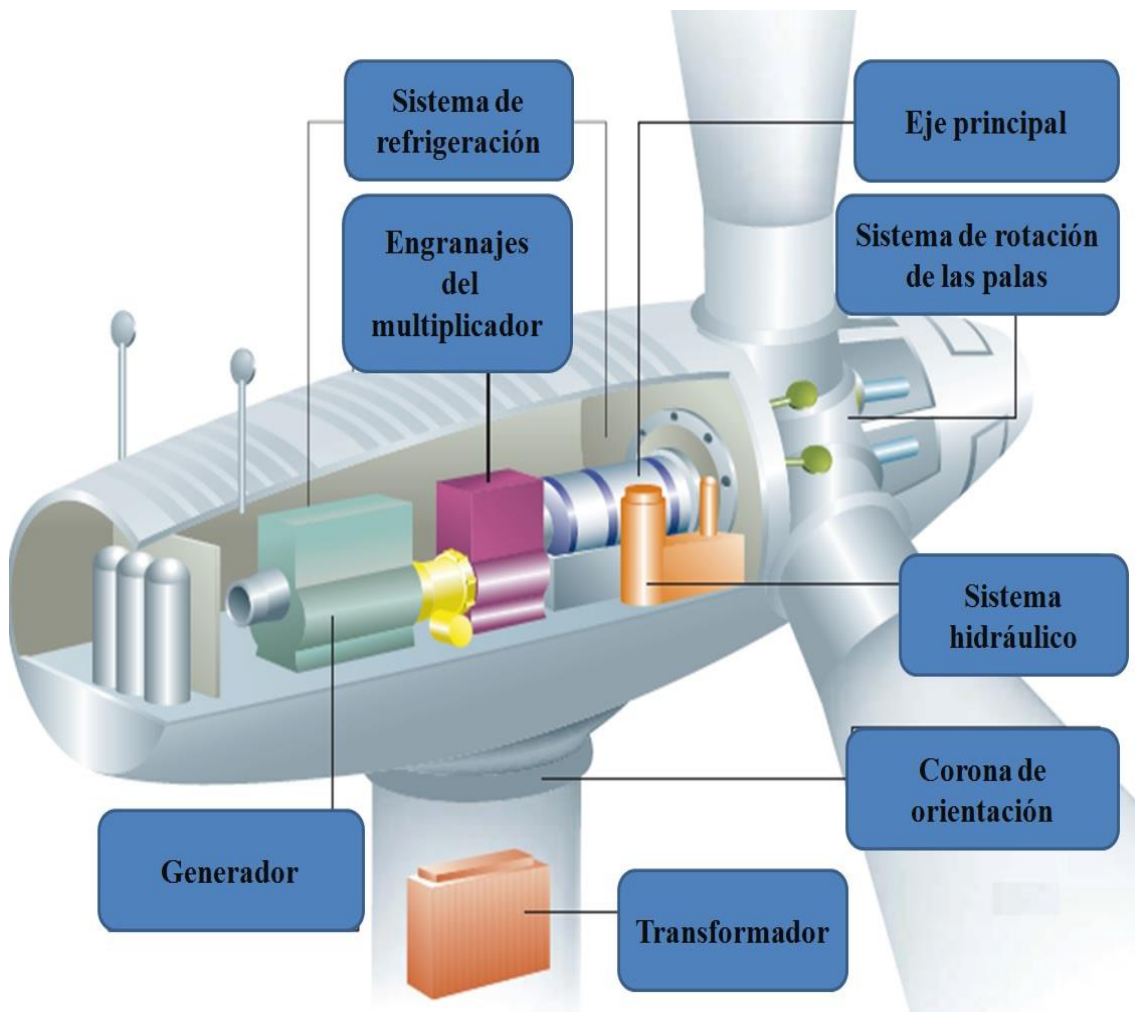
Esquema 9: Partes mecánicas de una turbina eólica.

Para poder capturar la materia prima, en este caso el viento y posteriormente generar energía eléctrica el aerogenerador debe de tener un sistema móvil completamente



refrigerado y lubricado. Sin el sistema de refrigeración y lubricación, el funcionamiento del motor es nulo. Eso significa que el sistema de refrigeración es el encargado de controlar la temperatura del motor y obtener un óptimo desempeño.

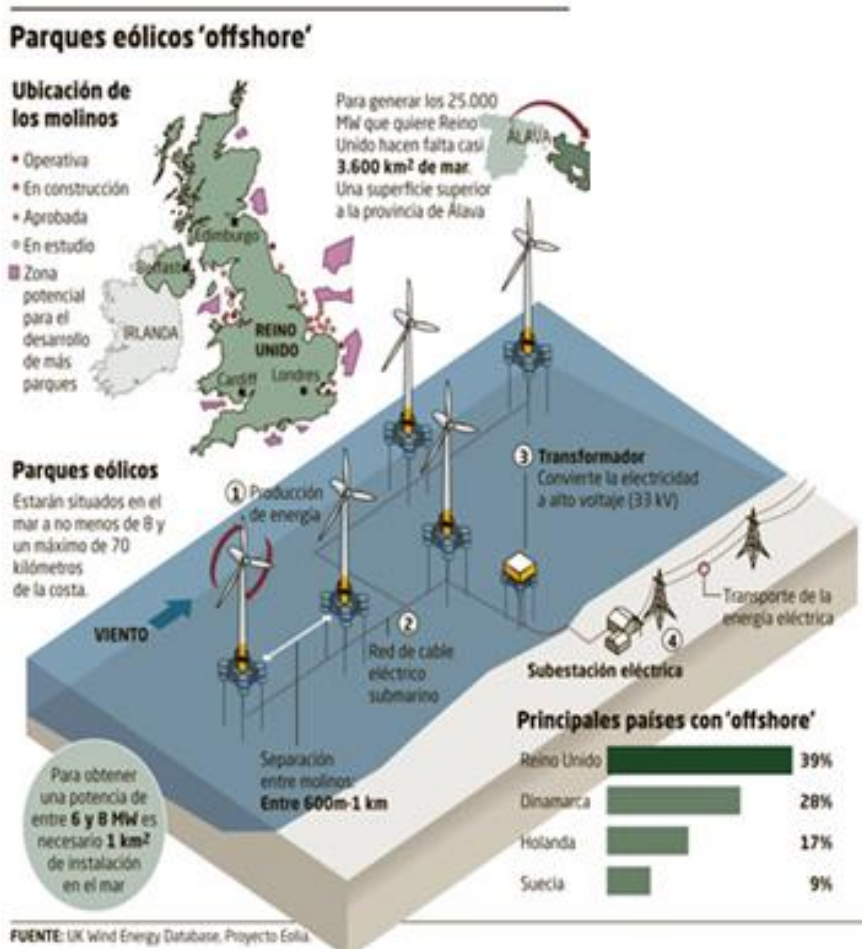
En el esquema 10, se visualizan las partes que conforman la góndola de un aerogenerador, donde se ubican todos los sistemas necesarios para su funcionamiento.



Esquema 10. Partes principales de un aerogenerador.

La instalación de un parque eólico “*offshore*”, tiene por objetivo principal abastecer de energía eléctrica a una parte de una población. El aerogenerador debe estar conectado a un sistema de conexión, que es el encargado que la energía eléctrica generada, en forma de corriente continua, llegue a una instalación situada en la costa, en donde se transformará en corriente alterna.

El esquema 11, muestra un sistema de conexión de aerogeneradores.

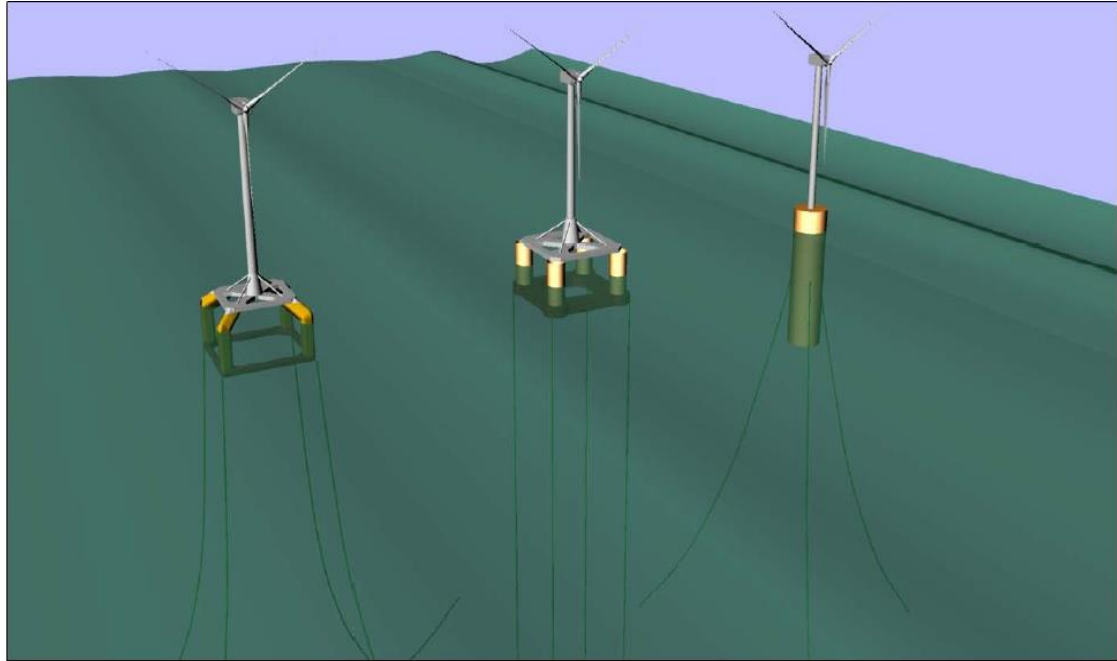


Esquema 11. Interconexión de aerogeneradores y conexión de línea a tierra. Fuente: Vía elmundo.es, UK Wind Energy Database, Proyecto Eolia. <http://www.sectorelectricidad.com/wp-content/uploads/2012/11/parque-eolico-marino-offshore.jpg>

Una parte de la instalación de un parque eólico “*offshore*”, es la plataforma que tiene la función de hacer de base y sujetar la torre y el aerogenerador. Según el “*Estudio técnico – financiero sobre la construcción de un parque eólico marino flotante en el litoral español, 2010*”, las tipologías más comunes a la hora de instalar una plataforma son:

1. Plataforma semisumergible.
2. Plataforma de tensión “*Leg Platform (TLP)*”.
3. “*Spar*”.

Según el estudio anteriormente citado, sí se estableciera criterios de comparación financiera entre los tipos de plataforma, la menos costosa sería la semisumergible, que consiste en una base sobre cuatro columnas y un cableado suspendido hasta el fondo marino. El Esquema 12, muestra los tres tipos de plataforma más comunes. Empezando por el margen izquierdo se representa la plataforma semisumergible, la del medio sería la plataforma de tensión y por último en el margen derecho se ilustra el “*Spar*”



Esquema 12. Principales plataformas para aerogeneradores offshore. Fuente: <http://oa.upm.es/6277/>

Según el “*Estudio técnico – financiero sobre la construcción de un parque eólico marino flotante en el litoral español, 2010*”, las características de una plataforma semisumergible para un aerogenerador de 5 MW son las siguientes:

- Calado de operación: 23 metros.
- Eslora: 50 metros.
- Desplazamiento en operación: 8445 toneladas.
- Peso de acero: 1600 toneladas.
- Peso de rosca: 2460 toneladas.

Según el “*Estudio técnico – financiero sobre la construcción de un parque eólico marino flotante en el litoral español, 2010*”, existen diferentes tipologías de sistemas de fondeo y anclaje. La importancia técnica y financiera viene dada por la dependencia de la elección que se tenga en cuenta a la hora de la instalación del parque eólico marino. Las tipologías más utilizadas son las siguientes:

- Anclas de arrastre.
- Pilotes hincados.
- Pilotes de succión.
- Sistema de catenarias.
- Sistemas tensos.
- Sistema TLP.

Según el “*Estudio técnico – financiero sobre la construcción de un parque eólico marino flotante en el litoral español, 2010*”, el sistema de pilotes cuesta un 40% menos que el sistema de anclaje, pero su coste de instalación es mayor, debido a la infraestructura necesaria que se debe de tener, como es el caso de una grúa flotante y un buque para poder maniobrar la instalación en el lecho marino. Por lo que respecta a las

inspecciones de suelo, los sistemas anclados son menos complejos que los sistemas pilotados y menos costosos. En el caso de rotura o dañado del sistema de fondeo, es más sencillo y barato reparar un sistema de anclaje que uno piloteado. En cuanto al tiempo de instalación un sistema de anclado requiere menos tiempo de instalación que uno de pilotes.

Por lo tanto en cuestiones financieras es preferente un sistema de anclado que uno de sistemas de piloteado, pero hay que tener en cuenta la tipología del suelo marino para analizar que estructura sería la más correcta y eficiente.

## Respuestas a los impactos ambientales derivados de la generación eléctrica: el caso de los aerogeneradores marinos.

### Parte 2

## PARTE TEÓRICA.

En el presente apartado, se analizan los criterios ambientales a tener en cuenta a la hora de valorar los impactos que puedan originarse durante la vida útil de un aerogenerador marino.

### DISTANCIA ÓPTIMA PARA LA IMPLANTACIÓN DE UN PARQUE EÓLICO MARINO.

Aproximadamente los parques eólicos marinos instalados en el norte de Europa, se encuentran a una distancia de 10 km, respecto a la costa. El Esquema 13, muestra cual sería la visibilidad de un aerogenerador, dependiendo de la distancia a la que se ubique.



Esquema 13. Visibilidad de un aerogenerador a distintas distancias de la costa. Fuente. <http://antonionarejos.wordpress.com/2011/04/15/impacto-visual-de-parques-eolicos-marinos-offshore/>

Así, una distancia de 10 km. y debido a la cobertura de la superficie terrestre, prácticamente es muy poco visible un aerogenerador.

### EFECTO DEL VIENTO.

El viento es el elemento clave, ya que sin él no tendría sentido la instalación de un parque eólico marino o terrestre. Según el “*Estudio Estratégico Ambiental del Litoral Español para la instalación de Parques Eólicos Marinos, (2009)*”, la potencia alcanzada por un aerogenerador marino puede llegar a los 3.000 MW, casi el doble que la potencia alcanzada por los aerogeneradores usuales instalados en tierra, que es de 1.500 MW. Sin duda el viento, es un factor clave, ya que los aerogeneradores pueden mediante un sistema móvil y sus respectivas palas de rotor, captar la energía eólica para transformarla en energía eléctrica. Por lo que respecta al estado español, según el “*Estudio Estratégico Ambiental del Litoral Español para la instalación de Parques Eólicos Marinos, (2009)*”, en el año 2007, España lideraba el sector eólico en el mundo

con unos 14.650 MW, todos instalados en tierra. Tan sólo le superaban Alemania y Estados Unidos.

### **CORRIENTES MARINAS Y OLEAJE.**

Las corrientes marinas y las olas, son factores importantes a la hora de determinar la instalación de un parque eólico “*offshore*”, ya que pueden dificultar las tareas que se deben de realizar durante la fase de construcción. Una mayor fluencia de corrientes y oleaje puede suponer un mayor incremento de riesgo; por ejemplo en las embarcaciones o en posibles derrames de aceite o grasas. Existen bases de datos de corrientes marinas de zonas algo alejadas de la costa. Una de las mejores del mundo se puede localizar en la siguiente dirección de Internet <http://jdossl.jodc.go.jp/cgi-bin/1997/ocs>

### **BATIMETRÍA.**

Debido a que hasta ahora la tecnología offshore presenta algunas limitaciones, los aerogeneradores no suelen instalarse a más de 50 metros de profundidad. Por lo tanto uno de los primeros criterios a tener en cuenta, es la profundidad media en que se pueden ubicar las instalaciones de los aerogeneradores.

### **FIGURAS DE PROTECCIÓN AMBIENTAL.**

A la hora de instalar un parque eólico “*offshore*”, se deberá de tener especial cuidado a que la zona no esté protegida bajo alguna figura ambiental. De entre todas podemos destacar los Lugares de Importancia Comunitaria, (LICS), las Zonas de especial protección para las aves (ZEPAS), la Red Natura 2000, las Reservas Marinas, los Parques Naturales y los Parques Nacionales. Dichas figuras de protección ambiental restringen cualquiera actividad que vaya en contra o que pueda alterar el área protegida.

### **ACTIVIDADES HUMANAS.**

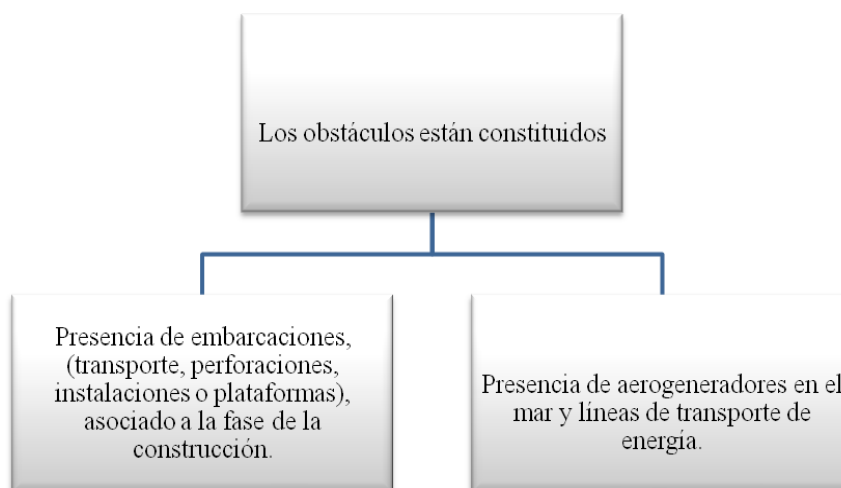
En los parques eólicos “*offshore*”, por medidas de seguridad y para evitar posibles accidentes debido al funcionamiento de los aerogeneradores, queda totalmente restringida cualquiera actividad humana, ya estén relacionadas con: el turismo, su uso recreativo, los caladeros de pesca y la navegación marítima.

### **RUTAS MARÍTIMAS, PUERTOS Y CALADEROS DE PESCA.**

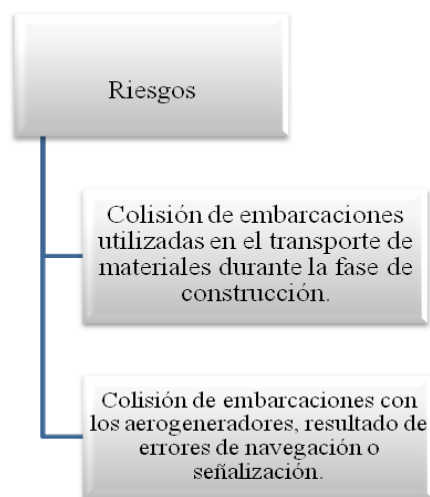
Según el informe realizado por la organización ecológica *Greenpeace*, (2003), “*Viento en Popa: la necesidad de un plan eólico marino en España*”, “*los parques eólicos marinos tendrán que estar localizados en todas las cartas náuticas y perfectamente señalizados con luces de posición y otros medios, de forma que no puedan ocasionar accidentes a la navegación*”. Aunque los parques eólicos marinos, tienen que estar localizados en las cartas náuticas, existen una serie de obstáculos que obstruyen la libre circulación del transporte marítimo. El riesgo por motivos de accidentes, serán mínimos si existe una buena señalización. En el caso de que un barco de transporte de petróleo

colisionara contra un aerogenerador las consecuencias serian catastróficas modificando el estado ecológico y el sistema cualitativo del agua.

El esquema 14, representa la constitución de los obstáculos que pueden generar impactos sobre la circulación marítima y caladeros de pesca. El esquema 15, representa los posibles riesgos que generan los aerogeneradores marinos, sino están bien señalizados y que afectan directamente a la navegación marítima y a las pequeñas embarcaciones como por ejemplo los pescadores.



Esquema 14. Obstáculos que pueden generar impactos sobre la circulación marítima y caladeros de pesca. Fuente: Proyecto Windtour, (2003). [http://www.agenergia.org/files/resourcesmodule/@random49917eec3c3bd/1234274481\\_Metodologia\\_EI\\_A\\_Parq\\_Eol\\_Marino\\_WINDTOUR\\_03.pdf](http://www.agenergia.org/files/resourcesmodule/@random49917eec3c3bd/1234274481_Metodologia_EI_A_Parq_Eol_Marino_WINDTOUR_03.pdf)



Esquema 15. Riesgos que puede ocasionar la instalación de un parque eólico offshore. Fuente: Proyecto Windtour, (2003). [http://www.agenergia.org/files/resourcesmodule/@random49917eec3c3bd/1234274481\\_Metodologia\\_EI\\_A\\_Parq\\_Eol\\_Marino\\_WINDTOUR\\_03.pdf](http://www.agenergia.org/files/resourcesmodule/@random49917eec3c3bd/1234274481_Metodologia_EI_A_Parq_Eol_Marino_WINDTOUR_03.pdf)

Las rutas de navegación marítima, juntamente con los obstáculos que se generan a partir de una instalación de un parque eólico marino y los riesgos asociados, interfieren en la elección de la ubicación de los aerogeneradores. Por lo tanto se deberán de evitar las principales rutas de navegación o las áreas de tráfico marítimo intenso.

También se deberán de tener en cuenta, el trazado de la línea eléctrica y de los cables de comunicación que van desde los aerogeneradores hacia la planta transformadora ubicada en la costa. Por lo tanto, es importante remarcar que a la hora de instalar aerogeneradores marinos se debe de tener especial cuidado a la navegación marítima, con la finalidad de incorporar ciertos dispositivos de seguridad. El objetivo es el de disminuir los riesgos de colisión de las embarcaciones. Los dispositivos de seguridad que deben de utilizarse deben contener pictogramas de colores llamativos o sistemas de identificación automática que comunican la posición de los elementos a las embarcaciones. Toda construcción o instalación viene asociada a una serie de alteraciones o problemas ambientales que afectan no sólo a los condicionantes físicos y biológicos sino que también afectan a los condicionantes socioeconómicos y paisajísticos de un territorio.

### **PRINCIPALES IMPACTOS QUE SE PUEDAN GENERAR.**

Los impactos que se analizarán son los referentes al medio físico y al socioeconómico.

Impactos al medio físico:

- Sobre el paisaje.
- Sobre el agua:
  - Efectos durante la instalación y desmantelamiento.
  - Efectos de grasas y aceites.
- Sobre el medio biológico.
  - Impactos en los espacios naturales protegidos.
  - Impactos sobre los hábitats marinos.
  - Impactos sobre el bentos.
  - Impactos sobre la fauna aviar.
- Sobre el medio climático.
  - Impactos debido a la circulación del viento.

Impactos en el medio socioeconómico:

- Sobre la generación de empleo.
- Sobre actividades recreativas.
- Sobre la población:



- Impactos acústicos.
- Impactos visuales.
- Impactos a la aceptabilidad social.

## 1. IMPACTOS AL MEDIO FÍSICO.

### IMPACTOS PAISAJÍSTICOS DURANTE LA VIDA ÚTIL DEL AEROGENERADOR.

En geografía de la percepción, el paisaje depende de la sensación y la sensibilidad que le despierte un determinado lugar a un individuo en concreto. Aunque el paisaje es la percepción que los ojos humanos contemplan, muchos individuos consideran que el paisaje es la suma de todos los elementos antrópicos y naturales, que crean un mural o escenario donde los seres vivos habitan durante sus ciclos de vida. Según el Proyecto *Windtour*, (2003), los autores, *Hodge*, (1999), citado por *Morris y Therivel*, (2001), afirman que actualmente hay una tendencia a considerar el paisaje como un “medio” y no como un “escenario”. El “*Landcape Institute for Environmental Assessment the United Kingdom*”, define un paisaje como: “*el aspecto de la tierra, incluyendo su forma, textura y colores, donde el modo en que estos diferentes componentes se combinan para crear imágenes y patrones específicos que son característicos de determinadas localizaciones*”. Según el Proyecto *Windtour*, (2003) en el *Convenio Europeo de Paisaje que se realizó en Florencia el año 2000*, se define paisaje como: “*el área, tal y como la percibe la población, donde el carácter resulta de la acción de los factores naturales y/o humanos y de la integración entre dichos factores, (Consejo de Europa, 2002)*. Los elementos que caracterizan un determinado paisaje, según el proyecto (*Windtour*, 2003), son los mostrados en la Tabla 1.

Relieve: topografía y orientación solar	Actividades humanas, especial atención en el turismo, recreación y patrimonio cultural.	Valores históricos o culturales asociados al paisaje.
Ocupación del territorio, (vegetación, áreas construidas)	Objetos principales que determinan un parque eólico.	Intervisibilidad, principales puntos de vista, (per ejemplo, localización de miradores panorámicos y barreras visuales).
Utilización de un plan de agua, (presencia de embarcaciones o estructuras flotantes).	Áreas consideradas como paisajes protegidos.	Frecuencia y tipos de observadores en diferentes medios, (terrestres y acuáticos) y su ocurrencia estacional.

Tabla 1. Elementos que caracterizan un determinado paisaje. Fuente: Proyecto *Windtour*, 2003. [http://www.agenergia.org/files/resourcesmodule/@random49917eec3c3bd/1234274481\\_Metodologia\\_EI\\_A\\_Parq\\_Eol\\_Marino\\_WINDTOUR\\_03.pdf](http://www.agenergia.org/files/resourcesmodule/@random49917eec3c3bd/1234274481_Metodologia_EI_A_Parq_Eol_Marino_WINDTOUR_03.pdf)

Centrándose en el estudio del paisaje, a la hora de asignar las localizaciones óptimas para declarar las zonas aptas y no aptas, se tendría que tener en cuenta los criterios de visibilidad y orientaciones, para minimizar el efecto visual.

Uno de los posibles impactos que se derivan de la instalación de parques eólicos marinos, son los impactos de tipo visual. Según el *Manual de energías sostenibles: Energía Eólica, (2006)*, los aerogeneradores se sitúan en entornos naturales poco poblados, pero donde hay unas condiciones climáticas idóneas relacionadas con el factor viento. Aunque se sitúen en dichas zonas también se tiene que tener en cuenta que el hecho que haya poca población incrementa el estado ecológico de la zona donde habrá mayor número de especies vegetales y faunísticas.

Aunque los aerogeneradores ocupan aproximadamente una altura que oscila entre los 80 y los 120 metros y con un diámetro de rotor que oscila entre los 90 y los 126 metros, (Esteban, 2009), el impacto visual, es uno de los impactos más subjetivos porque en parte depende de la persona que esté observando. Habrá una parte de población que no le afectará y otra parte de la población que no estará de acuerdo. Ahora bien, sí es cierto que la población se tendría que preguntar qué energía es mejor y de qué manera nos tenemos que abastecer, sí utilizando energía que menos impacta genere, pero que es energía no renovable y contaminante como la explotación de recursos fósiles o utilizando energías renovables, como puede ser la energía eólica “offshore”.

### **Vulnerabilidad, Resiliencia y Recuperación Inducida de del entorno de un aerogenerador marino, ante vertidos de grasas y aceites.**

Para estimar la influencia que sobre el entorno de un aerogenerador puedan tener las grasas y aceites que se puedan derramar de su góndola se ha determinado su Vulnerabilidad, su Resiliencia y su Recuperación Inducida. Para la determinación de dichos parámetros se han seguido las directrices del modelo V.I.C.E.N.C (Vulnerabilidad Intrínseca de Costas y Entornos Contaminados), Bergueiro y Moreno (2002). La Tabla 2 muestra los valores del Índice y Grado de Vulnerabilidad, el Tiempo de Resiliencia y la Recuperación Inducida, por medios mecánicos, por medios químicos y por medios biológicos.

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>
Índice de Vulnerabilidad	De mínimamente vulnerable a muy poco vulnerable.
Índice de Resiliencia	9
Grado de Resiliencia	Muy elevado
Tiempo de Resiliencia	Algunos meses
Recuperación Inducida por medios mecánicos	7
Recuperación Inducida por medios químicos	9
Recuperación Inducida por medios biológicos	6

Tabla 2. Vulnerabilidad, Resiliencia y Recuperación Inducida

## **IMPACTOS SOBRE EL AGUA.**

### **Efectos durante la instalación y desmantelamiento del aerogenerador.**

Según el Instituto de Investigaciones Ecológicas (INIEC, 2006), los impactos sobre la calidad del agua viene definido como: *“Estado de una corriente o masa de agua en función de sus características fisicoquímicas y biológicas. El desarrollo reglamentario de la Ley de Aguas establece los valores de calidad para los diferentes parámetros en función del uso a que destine; asimismo conviene tener en cuenta la Directiva 80/778/UE de aguas potables y otra reglamentación comunitaria sobre la calidad de las aguas, a la hora de ajustar las funciones de transformación que se utilicen en cada caso particular”*. Los indicadores a tener en cuenta para analizar los efectos que puede tener la construcción de un parque eólico *“offshore”* en la calidad de las aguas, son los siguientes:

- Índice de Calidad General (ICG).
- Demanda biológica de oxígeno (DBO).

Según el documento desarrollado como parte de un proyecto financiado por el Programa ALTENER de la Comisión de las Comunidades Europeas, (2003): *“WINDTOUR METHODOLOGICAL GUIDELINES FOR THE ENVIRONMENTAL AND SOCIOECONOMIC IMPACT ASSESSMENT OF OFF-SHORE WINDFARMS IN TOURISTIC AREAS ALTENER PROGRAMME 2001”*, *“la construcción de las cimentaciones que conlleva la preparación del lecho marino y su excavación y otras actividades, así como las operaciones llevadas a cabo para enterrar en su caso, la línea de evacuación (operaciones de mucha menor magnitud que en el caso de la excavación a realizar para instalar los aerogeneradores), genera la formación de una nube de sedimentos que puede afectar a un área más o menos extensa”*. Dicha nube provoca una cierta turbidez que puede dar lugar a una alteración de la transparencia y calidad del agua. Este impacto que tiene lugar durante la fase de construcción del parque eólico *“offshore”*, también se origina durante la fase de desmantelamiento de la instalación. Lo más perjudicial de la nube de sedimentos no se rige en que tan sólo puede afectar a la calidad del agua, sino que en gran medida ocasionan impactos sobre las comunidades bentónicas.

### **Efectos de grasas y aceites.**

Según información suministrada del documento desarrollado como parte de un proyecto financiado por el Programa ALTENER de la Comisión de las Comunidades Europeas, (2003): *“WINDTOUR METHODOLOGICAL GUIDELINES FOR THE ENVIRONMENTAL AND SOCIOECONOMIC IMPACT ASSESSMENT OF OFF-SHORE WINDFARMS IN TOURISTIC AREAS ALTENER PROGRAMME 2001”*, uno de los impactos ambientales que podrían ser más perjudiciales como consecuencia de la instalación de un parte eólico *“offshore”*, es el de vertidos al mar producidos a raíz de accidentes ocurridos durante las fases: de construcción, funcionamiento o operación y desmantelamiento.

Los derrames, pueden proceder de:

- Embarcaciones utilizadas durante la fase de construcción de los aerogeneradores.
- Infraestructuras existentes en el parque susceptibles de verter contaminantes.

Según el informe del Programa ALTENER de la Comisión de las Comunidades Europeas, (2003): *“el efecto de un vertido sería la contaminación del medio marino en el entorno en el que se produce, así como a lo largo del medio en que el vertido se desplace. Por lo tanto, la disminución en la calidad del agua tendría un inmediato reflejo en el impacto sobre la fauna y flora marina y, en su caso, costera, así como en los aspectos socioeconómicos relacionados con la calidad del medio marino (pesca, turismo, etc)”*. *“Las sustancias que podrían ser vertidas, son básicamente los aceites procedentes de las turbinas, los aceites procedentes de la subestación transformadora (en el caso de que se encuentre en el mar), aceites minerales procedentes de la línea eléctrica (en el caso de que no se utilice aislante seco), los aceites y los carburantes al igual que otras sustancias procedentes de embarcaciones o helicópteros en su operación normal o accidentadas.*

En caso de originarse un vertido de hidrocarburos éste debería ser contenido mediante una doble barrera, que estaría desplegada antes de realizarse cualquier operación de cambio de aceite. De no estar desplegadas las barreras deberán desplegarse lo más rápidamente posible para evitar el esparcimiento de los hidrocarburos. Seguidamente se recuperarán los hidrocarburos mediante “skimmers” que irán conectados a un depósito para el almacenamiento temporal de las mezclas recuperadas (agua, aceite y grasas) y su posterior traslado a tierra para su tratamiento. Dado el reducido volumen de hidrocarburos que puedan derramarse de una góndola de un aerogenerador cualquiera de los skimmers de tipo convencional que se utilizan normalmente para el tratamiento de las mareas negras puede ser utilizado.

En el caso de no poder desplegar los skimmers se recomienda la recuperación de los hidrocarburos mediante materiales adsorbentes.

Si no pudiesen recuperarse los hidrocarburos derramados una tercera opción sería la de intentar dispersarlos mediante un dispersante del tipo del COREXIT 8666.

Como técnicas de tratamiento de aceites derramados se descartan las opciones de quemado y hundimiento, debido al riesgo que tiene la primera técnica sobre los aerogeneradores y la segunda sobre el bentos.

## **IMPACTOS SOBRE EL MEDIO BIOLÓGICO.**

### **Impactos en los espacios naturales protegidos.**

Por lo que respecta a los espacios naturales protegidos, toda figura de protección se deberá de tener en cuenta, a la hora de delimitar o instalar un parque eólico *“offshore”*. Las áreas o zonas protegidas se deberán tenerse bajo cuidado especial. De todas formas

la normativa que regula el medio ambiente restringe cualquier actividad que pueda suponer una alteración del medio físico.

En el ámbito autonómico, la ley en que regula la protección del medio ambiente y territorio es la Ley 5/2005 de 26 de mayo (LECO), para la conservación de los espacios de relevancia ambiental de las Islas Baleares.

### **Impactos en los hábitats marinos.**

Debido a la turbidez creada por los sedimentos los organismos perjudicados son las comunidades bentónicas y planctónicas. Para que dichas comunidades puedan sobrevivir es necesario que la luz solar llegue a ellas. De lo contrario la vida no sería posible. Igualmente las partículas pueden depositarse encima de las comunidades bentónicas afectándolas notablemente.

Por otra parte un impacto positivo sobre los hábitats marinos es el que destaca el documento desarrollado como parte de un proyecto financiado por el Programa ALTENER de la Comisión de las Comunidades Europeas, (2003): *“WINDTOUR METHODOLOGICAL GUIDELINES FOR THE ENVIRONMENTAL AND SOCIOECONOMIC IMPACT ASSESSMENT OF OFF-SHORE WINDFARMS IN TOURISTIC AREAS ALTENER PROGRAMME 2001”*, *“En términos generales, las primeras observaciones llevadas a cabo en parques eólicos offshore indican que las cimentaciones se naturalizan, actuando como arrecifes naturales que ofrecen buenas condiciones de vida para comunidades bentónicas y piscícolas. A ello contribuye el hecho de que la zona en la que se instala un parque eólico offshore queda restringida a la pesca y el tráfico marítimo, excepto para labores de mantenimiento, lo que permitirá la proliferación de las especies asociadas a estos hábitats. Además, estos nuevos hábitats constituirán nuevas áreas de alimentación para los mamíferos marinos y las aves, que por tanto también se pueden ver beneficiados. En otros casos, el nuevo medio podrá ser utilizado para el cultivo de especies apropiadas, paliando el efecto negativo que la exclusión del área pudiera tener sobre el sector pesquero”*

### **Impactos sobre el bentos.**

Los aerogeneradores marinos, tienen como soporte o base, un sistema de fondeo o de anclaje para soportar la estructura del aerogenerador. Las alteraciones pueden originarse durante la colocación de la plataforma, del cableado o del sistema de pilotaje, constituido por una columna de acero anclada en el fondo marino.

Estos sistemas pueden originar durante la fase de construcción una alteración del fondo marino, debido a que se remueven los estratos marinos. Se debe tener especialmente cuidado durante la fase de construcción de la cimentación, debido a que puede afectar localmente al lecho marino. Por otra parte sí hubiera un exceso de cimentación o el sistema de cableado no fuera el adecuado a la tipología del sustrato marino, no tan solo se vería modificada la edafología local, sino también podría alterarse el biotopo local del lugar de instalación.

Según el documento desarrollado como parte de un proyecto financiado por el Programa ALTENER de la Comisión de las Comunidades Europeas, (2003): *“WINDTOUR METHODOLOGICAL GUIDELINES FOR THE ENVIRONMENTAL AND SOCIOECONOMIC IMPACT ASSESSMENT OF OFF-SHORE WINDFARMS IN TOURISTIC AREAS ALTENER PROGRAMME 2001”*, *“Una modificación o alteración en el biotopo local, influye en las comunidades animales y vegetales. Una consecuencia de la movilización del hecho marino, puede dar lugar a una movilización de los contaminantes como la cimentación que pueden provocar una disminución en la calidad del agua, debido a una mayor turbidez del agua y de contaminantes en suspensión y el fondo”*

### **Impactos sobre la fauna aviar.**

Dependientemente de la tipología de las palas de los aerogeneradores la avifauna, en su mayoría, no tienen la capacidad de visualizar hasta pocos metros de distancia un objetivo. Esto puede provocar accidentes y una disminución en la población aviar. Hay que tener especialmente cuidado en las rutas de migración aviar debido a que si se instalara un parque eólico *“ofsshore”* en una zona de notable influencia de migración aviar se podría ver alterada dicha ruta.

Durante el proceso de construcción y desmantelamiento de un parque eólico marino, la maquinaria como grúas o los buques utilizados, pueden alterar o modificar las rutas de migración. Igualmente durante el proceso de funcionamiento u operación de un aerogenerador sus palas pueden originar accidentes y provocar una disminución de las especies aviares.

### **IMPACTOS SOBRE EL MEDIO CLIMÁTICO.**

#### **Impactos debido a la circulación del viento.**

Por lo que respecta a la velocidad del viento, según el Instituto de Investigaciones Ecológicas (INIEC, 2006), *“las variaciones en la velocidad del viento suponen acumulación de contaminantes y cambios de la humedad relativa. Velocidades de 18 km/h son molestas y vientos peligrosos cuando alcanzan los 72 km/h”*.

Según la misma institución: *“las barreras artificiales, edificios, muros, presas, etc. en fondo de valle dificultan el drenaje del aire provocando heladas o nieblas de subsidencia, y la consiguiente repercusión en el potencial agroclimático.*

En el caso de la implantación de un parque eólico marino, la fricción del viento es menor en el mar que en tierra, debido a que la rugosidad es menor. Por lo tanto la circulación del viento será mayor en el mar, dando lugar a un número mayor de KW captados por el aerogenerador.

## 2. IMPACTOS SOBRE EL MEDIO SOCIOECONÓMICO.

### IMPACTOS SOBRE LA GENERACIÓN DE EMPLEO.

En la actualidad, en un momento de crisis económica que está pasando la Unión Europea, y que países como España, siguen aumentando las tasas de paro considerablemente, la generación de empleo es sumamente importante.

En el caso de la creación de un parque eólico marino en el litoral Balear o en el Estado Español, supondría la creación de puestos de trabajo generados por el proyecto durante las tres fases: construcción, funcionamiento y desmantelamiento.

Durante la fase de construcción el trabajo consistirá en transportar y ensamblar los materiales y componentes para realizar las tareas de ejecución.

Durante la fase de funcionamiento las tareas a realizar se centran en el control, vigilancia y mantenimiento de los aerogeneradores, del cableado, de la central transformadora y de cada uno de los componentes que conforman el parque eólico “*offshore*”.

Aunque la implantación de un parque eólico marino, puede suponer generación de empleo, también los pescadores de la zona, pueden ver alterada su zona de trabajo, ya que no podrán acceder, para evitar posibles accidentes.

Para cuantificar cuál sería el impacto de generación de empleo, habrá que tener en cuenta el indicador de la *Tasa de Actividad*. La tasa de actividad es la relación entre la población ocupada y la población activa.

$$I = \frac{\text{Población ocupada}}{\text{Población activa}}$$

Debido a la seguridad, toda actividad socioeconómica queda restringida en un parque eólico “*offshore*”. Este hecho puede provocar que la explotación que se hacía de una zona donde se vaya a implantar un parque eólico, se vea alterada.

Por otra parte, no todos los efectos o impactos son negativos, ya que las instalaciones de parques eólicos marinos, tanto en la fase de construcción como en la fase de funcionamiento, necesitan de personal especializado. Por lo tanto la implantación de un parque eólico “*offshore*”, genera empleo.

### IMPACTOS SOBRE ACTIVIDADES RECREATIVAS.

Todo espacio destinado a una actividad, renuncia por definición a que el mismo espacio pueda ser utilizado para la utilización de otras actividades.

En el caso de la instalación de un parque eólico “*offshore*”, el espacio que ocupe quedara delimitado y restringido a otras actividades de uso recreativo, como por ejemplo la pesca o los deportes acuáticos.

Dependiendo de las condiciones ambientales que reúna el espacio destinado a la instalación del parque y de la afluencia que tenga el espacio en la población, el impacto será mayor o menor, debido a que es un impacto que afecta socialmente y no al medio físico.

Sí el espacio tiene mucha afluencia de la población de la zona, el conflicto que se genere será mayor, debido a que la población tendrá menos territorio donde poder realizar sus actividades de ocio. Este conflicto puede generar un impacto colindante, el de aceptabilidad social.

## **IMPACTOS SOBRE LA POBLACIÓN.**

### **Impactos visuales.**

Tal como se indicó en el apartado en donde se analizaron los criterios ambientales, los aerogeneradores normalmente se ubican a distancias suficientemente alejados de la costa. Esto trae como consecuencia que el impacto visual es mínimo.

### **Impactos acústicos.**

El viento al incidir sobre las palas de los aerogeneradores produce ruido. También hay otros ruidos generados por el rozamiento de los mecanismos internos de la góndola, aunque son menos importantes. Los últimos modelos de aerogeneradores incorporan la posibilidad de programarlos para que la generación de ruido sea menor en algunas horas o días concretos. Esta opción podría ser interesante para lugares objeto de visita, como espigones de puertos o miradores turísticos.

La tendencia actual es la de fabricar aerogeneradores cada vez mayores. Estos modelos tienen mayores potencias y permiten su instalación en áreas de menor viento al girar a menor velocidad. Por lo que se puede deducir que cada vez los aerogeneradores son más silenciosos, ya que se instalan en lugares con vientos más calmados, y giran a menor velocidad. La mayor altura de los modernos generadores también disminuye la presión sonora generada por el rozamiento, al disponerse de mejores aceites lubricantes

Los aerogeneradores provocan, un ruido muy reducido a distancias superiores a los 300 m. Si se instalan a distancias superiores a cualquier área residencial no se generarán trastornos.

Con viento intenso los aerogeneradores producen más ruido, pero es difícil distinguirlo del mismo ruido de fondo generado por el viento mismo. Por lo anterior la instalación de los aerogeneradores no debería verse comprometida por los ruidos generados.

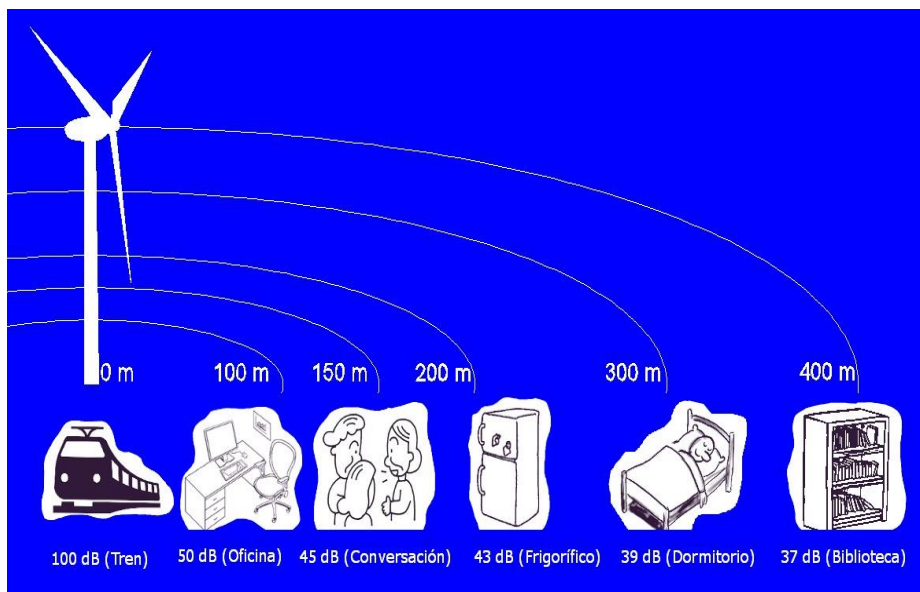
La Tabla 3 muestra una relación entre la velocidad del viento y el ruido generado por un aerogenerador.



Velocidad del viento (km/h)	Ruido generado por un aerogenerador (dB)
11	96,7
14	98,1
18	101,2
22	104,3
25	104,4
29	104,2
32	104,1

Tabla 3. Relación entre la velocidad del viento y el ruido generado por un aerogenerador.  
Fuente: <http://antonionarejos.files.wordpress.com/2011/10/tabla.jpg>

Normalmente los parques eólicos “*offshore*” suelen estar, aproximadamente a una distancia de 10 km a la costa. El Esquema 16, muestra que los efectos de la contaminación acústica sobre la población son mínimos. Aun así hay que tener en cuenta que comparado con otros servicios que los que hacemos uso la población, a veces alcanzamos notables niveles de ruido, que son perjudiciales para la salud. Aquí que surja el dilema, si los aerogeneradores molestan por el ruido que generan o molestan porque una parte de la sociedad no acepta los aerogeneradores.



Esquema 16.

Variación del ruido que se percibe de un aerogenerador en función de la distancia. Fuente: <http://antonionarejos.files.wordpress.com/2011/10/impacto-acustico-generadores.jpg>

Del esquema anterior se deduce que los aerogeneradores marinos no generan problemas acústicos sobre la población circundante, dada su distancia a la que se encuentran de la costa.

### **Impacto sobre la aceptabilidad social.**

En toda infraestructura que se va a crear, la población tendrá diversas opiniones y percepciones, con lo cual su grado de aceptabilidad será mayor o menos dependiendo de sí la estructura les molesta o se encuentra próxima a su zona o área de afluencia.

En general como más próxima esté la infraestructura de los núcleos urbanos menor aceptabilidad social tendrá. En el caso de los parques eólicos “*offshore*”, se ubiquen a una distancia prudente de la costa en general no deberían de presentar ninguna molestia a la población. De todos modos, siempre hay una parte de la población que está en contra de la implantación de un parque eólico “*offshore*”, debido a que tiene inconvenientes o porque teme que el paisaje o la visualización de su entorno se vean alteradas por un impacto paisajístico.

**Respuestas a los impactos ambientales derivados de la generación eléctrica: el caso de los aerogeneradores marinos.**

*Parte 3*

**PARTE EXPERIMENTAL**

**PROPUESTAS DE SOLUCIÓN PARA LA MITIGACIÓN DE LOS IMPACTOS.**

En el presente apartado se analizan los impactos que representen la mayor repercusión ambiental sobre el medio ambiente. Se proponen una serie de soluciones cuya misión es la de mitigar los impactos que puedan originarse.

Los impactos ambientales que podrían generar mayor incidencia sobre el medio son:

- Sobre el paisaje.
- Sobre el agua.
  - Efectos de grasas y aceites.
- Sobre el medio biológico.
  - Impactos sobre los hábitats marinos.
  - Impactos sobre la fauna aviar.
- Sobre la población.
  - Impactos acústicos.

Las propuestas que pretenden dar una posible solución, para que el efecto de los impactos mencionados anteriormente sea mínimo, se enmarcan en el presente apartado:

- ✓ Alejamiento de los aerogeneradores de la costa.
- ✓ Medidas de protección y seguridad con las barreras de contención.
- ✓ Ahuyentadores aviares.
- ✓ Aerogeneradores más silenciosos.

A continuación se trata brevemente cada una de las propuestas, asociándolas con el impacto que van a mitigar.

**Alejamiento de los aerogeneradores de la costa.**

Existe un consenso general de ubicar siempre los parques eólicos lo más alejados posibles de la costa dentro de las posibles características del medio marino.

**Medidas de protección y seguridad con las barreras de contención.**

Para mitigar el impacto ambiental por derrames de grasas y aceites sobre el agua circundante al aerogenerador la propuesta que se hace es la de utilizar barreras de contención, cuya misión es la de contener a los aceites derramados, evitándose que sigan esparciéndose en la superficie del mar. Por lo tanto cuando se realice el mantenimiento del sistema móvil del aerogenerador, en primer lugar se parará éste y a continuación se desplegarán las barreras de contención. El coste de dichas barreras de contención depende de la anchura y longitud de la zona a proteger. La Tabla 3 muestra los resultados del cálculo de la longitud de la barrera necesaria al igual que su coste y el del carretel necesario, para proteger una zona de 5 metros de anchura y de 15 metros de longitud. La Tabla 4 muestra, el coste de la barrera y el carretel necesario para proteger una anchura de 20 metros y una longitud de 285 metros (140+140+5 m.).

**CÁLCULO DE LA LONGITUD DE UNA BARRERA DE CONTENCIÓN DE HIDROCARBUROS PARA CONTENER UN VERTIDO DE ACEITE PROCEDENTE DE UNA GÓNDOLA DE UNA AEROGENERADOR.**

<b>Longitud de la zona a proteger (m.)</b>	<b>15</b>
<b>Anchura de la zona a proteger (m.)</b>	<b>5</b>
<b>Longitud de barrera necesaria (m.)</b>	<b>50</b>
<b>Coste de la barrera (€)</b>	<b>15.000 – 20.000</b>
<b>Coste del carretel necesario (€)</b>	<b>30.000</b>

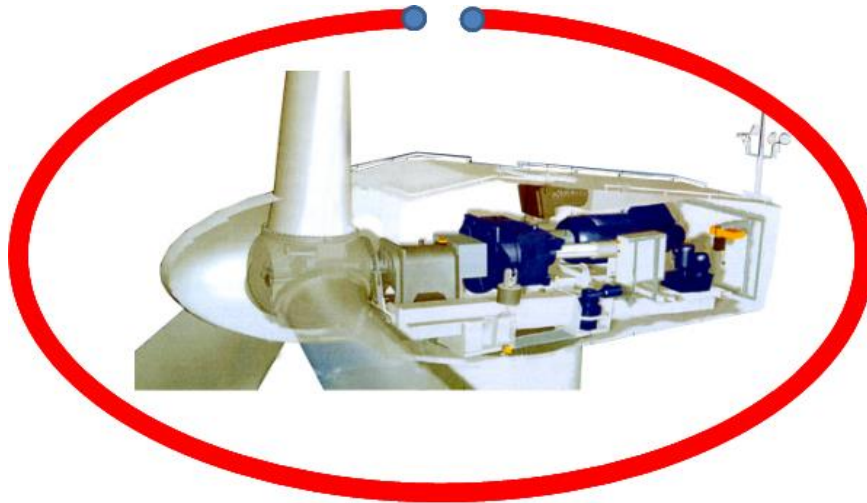
Tabla 4. Longitud de barrera necesaria, su coste y el de su carretel, para proteger una zona de 5 metros de anchura y 15 metros de longitud. Fuente: J.R. Bergueiro, 2009.

**CÁLCULO DE LA LONGITUD DE UNA SEGUNDA BARRERA DE CONTENCIÓN DE HIDROCARBUROS PARA CONTENER UN VERTIDO DE ACEITE PROCEDENTE DE UN AEROGENERADOR.**

<b>Longitud de la zona a proteger (m.)</b>	<b>140 + 140 + 5</b>
<b>Anchura de la zona a proteger (m.)</b>	<b>20</b>
<b>Longitud de barrera necesaria (m.)</b>	<b>521</b>
<b>Coste de la barrera (€)</b>	<b>156.300 – 160.500</b>
<b>Coste del carretel necesario (€)</b>	<b>90.000</b>

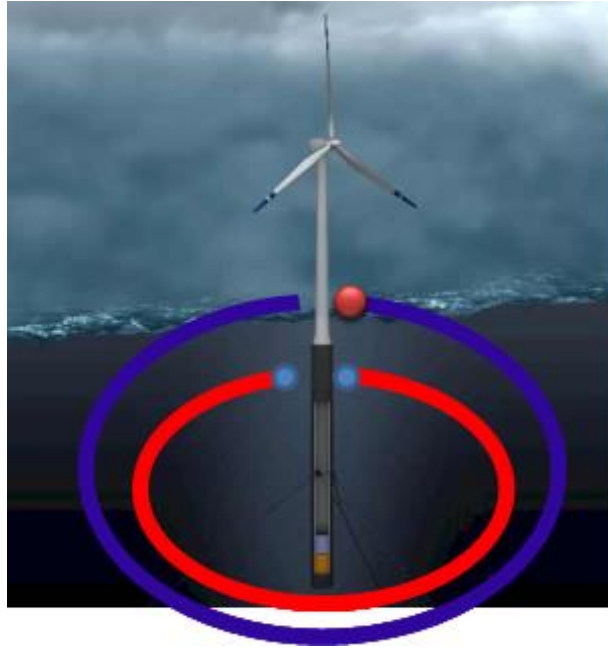
Tabla 5. Longitud de barrera necesaria, su coste y el de su carretel, para proteger una zona de 285 metros de longitud y 20 metros de anchura. Fuente: J.R. Bergueiro, 2009.

El esquema 17 muestra el despliegue de una barrera para contener grasas y aceites procedentes de un aerogenerador.



Esquema 17. Despliegue de una barrera para contener grasas y aceites procedentes de la góndola de un aerogenerador.

El Esquema 18 muestra la colocación de una doble barrera, para evitar que los aceites y grasas derramados contaminen otras zonas marinas al ser desplazados por las olas. Se recomienda depositar materiales adsorbentes entre las dos barreras para conseguir adsorber los productos derramados e impedir su esparcimiento.



Esquema 18. Despligue de dos barreras para contener grasas y aceites procedentes de la góndola de un aerogenerador.

### **Aerogeneradores silenciosos.**

Los aerogeneradores deben de ser lo menos ruidoso posible para mitigar los impactos acústicos sobre personas y aves. Los nuevos diseños de aerogeneradores contemplan el acercamiento de las palas, lo que origina un menor ruido, debido al menor rozamiento entre ellas. Igualmente el diseño incrementa la visibilidad de dicho aerogenerador, lo que genera una disminución en la mortandad aviar.

La fotografía 1, muestra un aerogenerador de este tipo.



Fotografía 1. Aerogenerador especialmente diseñado para la disminución del ruido y el impacto aviar.  
Fuente: <http://www.medioambiente.org/2011/11/aerogenerador-silencioso.html>

### **Ahuyentadores aviáres.**

Con el fin de reducir la mortandad de las aves, por impacto con las palas de los aerogeneradores, se propone la distribución de ahuyentadores aviáres a lo largo y ancho de todo el parque eólico. Mediante un programa informático, denominado AHUYENTADORES 2, se puede calcular el número de ahuyentadores necesarios para evitar que determinados tipos de aves marinas impacten sobre los aerogeneradores. El programa se puede utilizar con las siguientes aves marinas: águila pescadora, ánsar, cormorán común, gaviota, negrón común y pato colorado. Los dispositivos en este caso tendrían que localizarse en dos zonas del aerogenerador. Uno estaría arriba, justo en la parte alta de la góndola, y el otro casi encima de la superficie marítima. Así, se podrán ahuyentar las aves que vuelen a mayor altura y las que vuelen a ras del agua.

El esquema 19 muestra un despliegue de ahuyentadores en un parque eólico marino.



Esquema 19. Pantalla de entrada y salida de datos del modelo AHUYENTADORES 2. Fuente: J.R. Bergueiro, A. Martí y J. M. Calvilla, (2013).

Así para el parque eólico de Wikinger, de 400 MW, instalado en el mar Báltico, a 35 kilómetros de la isla de Rügen (Mecklemburgo-Pomerania Occidental), de dimensiones 5000 por 6800 metros, serían necesarios 30 ahuyentadores para evitar que los cormoranes comunes se acercaran a los aerogeneradores. Los cálculos se han efectuado aplicando el modelo AHUYENTADORES 2.

### **Tratamiento con adsorbentes de los aceites derramados de un aerogenerador.**

La misión de un adsorbente es la de retener en su superficie la mayor cantidad de hidrocarburos derramados en la superficie del mar. Para que el proceso sea lo más efectivo posible se colocará una doble barrera rodeando al vertido de hidrocarburos. Seguidamente, mediante un cañón pulverizador, se pulverizará el adsorbente encima del vertido. Una vez concluido el tiempo de adsorción, del orden de quince minutos, se puede recuperar ya el adsorbente y los hidrocarburos retenidos. La Tabla 6 muestra el



resultado del cálculo de la cantidad de adsorbente a utilizar para recuperar 50 L de aceite derramado, procedente de la góndola de un aerogenerador.

Cantidad de hidrocarburos derramados (L)	50
Área ocupada por el derrame (m <sup>2</sup> )	320
Adsorbente seleccionado	CHEZACARB S
Caudal de pulverización del cañón (L/m <sup>2</sup> )	300
Cantidad de adsorbente a utilizar (Kg.)	210
Tiempo total de pulverización (s.)	42
Alcance del cañón a favor del viento (m.)	10
Velocidad de cobertura (m <sup>2</sup> /s.)	7,62

Tabla 6. Cálculo de la cantidad de adsorbente a utilizar para recuperar 50 L de aceites derramado, procedente de la góndola de un aerogenerador.

### **Recuperación, mediante skimmers, de aceites y grasas derramadas en el mar.**

Los aceites y las grasas que puedan derramarse de la góndola de un aerogenerador pueden recuperarse de la superficie del mar mediante skimmers de succión, tal como se muestra en la Fotografía 2.



Fotografía 2. Skimmer de succión directa.

<http://www.oilspillsolutions.org/bp-oil-spill-in-gulf-2.jpg>

Igualmente pueden recuperarse los aceites derramados mediante skimmers de tambor, tal como se muestra en la Fotografía 3.





Fotografía 3. Recuperación de aceites mediante un skimmer de tambor.

<http://static.guim.co.uk/sys-images/Guardian/Pix/pictures/2010/6/3/1275577370269/Contract-workers-from-BP--006.jpg>

Dado que los volúmenes de grasas y aceites que pueden derramarse de las góndolas de los aerogeneradores es siempre inferior a 250 litros la recuperación puede efectuarse mediante skimmers del tipo KEBAB 1500, con capacidad de recuperación de  $1,5 \text{ m}^3/\text{h}$ . La cantidad de agua que suele acompañar a los aceites es inferior al 2%.

#### **Tratamiento de los aceites mediante dispersantes.**

Dado que la viscosidad de los aceites utilizados en las góndolas de los aerogeneradores es superior a  $1.000 \text{ mPa}\cdot\text{s}$  no se recomienda utilizar dispersantes para su tratamiento, dada la baja efectividad de los dispersantes que hay disponibles en el mercado. En el caso de mares muy agitados los aceites derramados podrían formar emulsiones del tipo “mousse de chocolate”. En este caso igualmente no se recomendaría utilizar dispersantes.

#### **Quemado de las grasas y aceites derramados en el mar.**

Dada la gran cantidad de contaminantes que se forman por la combustión de los aceites y las grasas que se utilizan en las góndolas de los aerogeneradores no se recomienda utilizar el proceso de quemado como técnica de eliminación de la superficie del mar.

Los principales productos que se generan durante la combustión de las grasas y los aceites son el monóxido y dióxido de carbono, los óxidos de azufre ( $\text{SO}_2$  y  $\text{SO}_3$ ), los óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ) y las partículas en suspensión. Debido a la humedad del aire se puede formar igualmente ácido sulfúrico, procedente del  $\text{SO}_3$  generado, lo que incrementaría considerablemente los procesos de oxidación en la mayor parte de las piezas que forman un aerogenerador.

Igualmente no se recomienda la técnica de quemado debido al alto riesgo que corre la góndola del aerogenerador y algunos elementos de control, situados en la torre, y mediante los cuales se consigue el máximo rendimiento de los aerogeneradores.

**Respuestas a los impactos ambientales derivados de la generación eléctrica: el caso de los aerogeneradores marinos.**

*Parte 4*

**MATRICES DE IMPACTO AMBIENTAL**

El presente capítulo se centra en analizar mediante la creación de diferentes matrices el grado de importancia e impacto ambiental que originan los aerogeneradores marinos. La Matriz 1, presenta una relación a partir de los componentes físicos, biológicos y socioeconómicos y de las acciones impactantes durante la fase de construcción y funcionamiento, para determinar si existe un impacto ambiental.

C O M P O N E N T E S	Factores Impactantes	Acciones Impactantes	FASE DE CONSTRUCCIÓN				FASE DE FUNCIONAMIENTO													
			Movimientos de tierras	Instalación de cimentaciones y pilotes	Vertido de Materiales	Movimiento de embarcaciones	Entero de cable submarino eléctrico	Derrames de aceite y sustancias químicas	Aerogeneradores	Movimiento y funcionamiento de maquinaria	Movimiento de embarcaciones									
Características físicas y químicas	Atmosfera	Ruido	X				X	X	X											
	Hidrología	Calidad	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Condiciones biológicas	Paisaje	Calidad Marina	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Fauna	Aves																		
Factores socioeconómicos	Flora	Comunidades bentónicas y plantónicas	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Poblacion	Salud			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		Aceptabilidad social			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		Recursos pesqueros	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		Transporte marítimo	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Economía	Turismo	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		Uso recreativo	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		Generación de empleo	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Matriz 1: Relación entre los componentes físicos, biológicos y socioeconómicos y de las acciones impactantes durante la fase de construcción y funcionamiento, para determinar si existe un impacto ambiental.

Uno de los mayores impactos ambientales, tanto para el medio físico como para el medio biológico, y que se ha querido dar una mayor importancia debido a su grado de importancia y de los efectos de los derrames de aceite procedentes de aerogeneradores. Para ello, las matrices siguientes de valoración se han realizado para impactos negativos, directos, con sinergia y acumulativos, temporales y localizados, recuperables, reversibles, si afectan a recursos protegidos, si se necesitan medidas correctoras, si hay probabilidad de concurrencia, si son admisibles y si la valoración es moderada o no. Todos estos parámetros se han determinado para el aire, para el caso de que se produzca un vertido de aceites, procedentes de los sistemas de lubricación y refrigeración o un incendio en la góndola.

Las matrices 2; 3 y 4, se han construido para estimar la influencia de los parámetros anteriores en los mamíferos marinos y aves marinas y terrestres, que viven en las inmediaciones del parque eólico, en los peces, en los crustáceos y moluscos, en los organismos bentónicos, en las algas y el plancton, en la pesca y en la navegación.

PRINCIPALES IMPACTOS AMBIENTALES. (VALORACIÓN CUALITATIVA)		CARACTERIZACIÓN DE LOS IMPACTOS				
		NEGATIVO	DIRECTO	SINERGIA	TEMPORAL	LOCALIZADO
AIRE	CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA	X	X	X	X	X
	OLORES	X	X	X	X	X
BENTOS	BENTOS	X	X	X	X	X
AGUA	AGUA DEL MAR	X	X	X	X	X
CULTIVOS MARINOS	PECES, CRUSTÁCEOS Y MOLUSCOS	X	X	X	X	X
	ALGAS	X	X	X	X	X

Matriz 2: Identificación de los impactos que pueda originar un vertido de un aceite procedente de un aerogenerador marino. Fuente:

PRINCIPALES IMPACTOS AMBIENTALES. (VALORACIÓN CUALITATIVA)		CARACTERIZACIÓN DE LOS IMPACTOS			
		RECUPERABLE	REVERSIBLE	AFECTA A RECURSOS PROTEGIDOS	
				SI	NO
AIRE	CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA	X	X	X	X
	OLOR	X	X	X	X
FONDO	BENTOS	X	X	X	X
AGUA	PECES, CRUSTÁCEOS Y MOLUSCOS	X	X	X	X
CULTIVOS MARINOS	ALGAS	X	X	X	X

Matriz 3: Caracterización cualitativa de impactos.

PRINCIPALES IMPACTOS AMBIENTALES. (VALORACIÓN CUALITATIVA)		DICTAMEN		VALORACIÓN	
		SE NECESITAN MEDIDAS CORRECTORAS	PROBABILIDAD DE CONCURRENCIA	NO ADMISIBLE	MODERADA
AIRE	CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA	X	X	X	X
	OLOR	X	X	X	X
FONDO	BENTOS	X	X	X	X
AGUA	PECES, CRUSTÁCEOS Y MOLUSCOS	X	X	X	X
CULTIVOS MARINOS	ALGAS	X	X	X	X

Matriz 4: Identificación de medidas correctoras del impacto de un aceite de un aerogenerador marino, que ha sido derramado en el mar.

Igualmente se han construido las matrices 5 a 8 para cuando hay una disminución del paso de la luz y del oxígeno al agua del mar, debido a la película de hidrocarburos que hay flotando en la superficie del mismo, cuando las grasas se han depositado en el bentos al igual que en el agua del mar y hay productos tóxicos procedentes de las gasas y los aceites.

	Aceite derramado en la superficie del mar	Aceite emulsionado	Aceite dispersado	Dispersantes	Partículas en suspensión	Monóxido de Carbono	Anhidrido sulfuroso
Moluscos	2 1	8 7	8 8	9 9	8 8	1 1	1 1
Crustáceos	2 2	7 8	8 8	9 9	6 8	1 1	1 1
Peces	6 7	8 8	8 8	9 9	6 7	4 4	4 5
Aves Marinos	9 9	5 5	5 5	9 9	1 1	9 9	9 9
Aves terrestres	1 1	1 1	1 1	1 1	1 1	9 9	9 9
Mamíferos marinos	8 5	9 7	9 7	8 8	6 5	9 8	9 9

Matriz 5: Impactos sobre moluscos, crustáceos, peces, aves marinas y terrestres al igual que mamíferos marinos.

	Aceite derramado en la superficie del mar	Aceite emulsionado	Aceite dispersado	Dispersantes	Partículas en suspensión	Monóxido de Carbono	Anhidrido sulfuroso
Organismos bentónicos	2/3	3/4	3/3	3/2	4/3	1/1	1/1
Algas	8/8	7/8	8/8	9/9	6/8	1/1	1/1
Plancton	4/5	8/8	8/8	9/9	6/7	2/3	2/3
Estructuras artificiales	8/3	3/2	2/3	1/1	1/1	1/1	1/1
Navegación	1/1	1/1	1/1	1/1	1/1	9/9	9/9
Personas	1/1	1/1	1/1	1/1	8/8	9/9	9/9

Matriz 6: Impactos sobre organismos bentónicos, algas, estructuras artificiales, navegación y personas, de aceite derramado en la superficie del mar, del emulsionado y dispersado, de las partículas en suspensión y del monóxido de carbono y del anhídrido sulfuroso.

	Disminución del paso de la luz al agua	Disminución de la difusión del oxígeno al agua	Aceite pesado y grasas depositadas en el Bentos	Hidrocarburos disueltos	Productos tóxicos formados durante la degradación	Efectos sinérgicos formados durante el proceso de biodegradación	Productos tóxicos formados durante la degradación
Mamíferos marinos	9/9	9/9	3/4	5/5	6/5	5/5	6/5
Aves marinas	2/2	2/2	1/1	3/5	1/1	1/1	1/1
Aves terrestres	1/1	1/1	1/1	1/1	1/1	1/1	1/1
Peces	8/9	9/9	3/3	6/5	7/6	4/4	4/5
Crustáceos	8/9	8/9	9/9	6/5	6/8	5/2	5/2
Moluscos	8/9	9/8	9/9	6/5	8/4	5/3	4/2
Organismos bentónicos	8/9	9/8	9/9	3/2	3/2	1/1	1/1
Algas	9/9	7/8	4/6	6/5	5/5	2/2	2/3
Plancton	9/9	9/9	3/4	8/9	8/8	7/6	6/5

Matriz 7: Identificación de impactos sobre los mamíferos marinos, las aves marinas y terrestres, los peces, los crustáceos, los moluscos, los organismos bentónicos y las algas.

	Disminución del paso de la luz al agua	Disminución de la difusión del oxígeno al agua	Aceite pesado y grasas depositadas en el Bentos	Hidrocarburos disueltos	Productos tóxicos formados durante la degradación	Efectos sinérgicos formados durante el proceso de biodegradación	Productos tóxicos formados durante la degradación
Estructuras artificiales	1 1	1 1	1 1	1 1	1 1	1 1	1 1
Navegación	1 1	1 1	1 1	1 1	1 1	1 1	1 1
Personas	1 1	1 1	1 1	1 1	1 1	1 1	1 1
Embarcaciones	1 1	1 1	1 1	1 1	1 1	1 1	1 1

Matriz 8: Identificación de impactos sobre el plancton, las estructuras artificiales, la navegación, las personas y las embarcaciones.

**Respuestas a los impactos ambientales derivados de la generación eléctrica: el caso de los aerogeneradores marinos.**

**CONCLUSIONES**

- ✓ Se han identificado los impactos ambientales que pueden generarse durante la construcción y explotación de un parque eólico marino “*offshore*”.
- ✓ Se han construido las matrices de identificación de impactos de grasas y aceites, utilizados en los sistemas de lubricación y refrigeración, sobre peces, crustáceos y moluscos, aves marinas y terrestres, mamíferos marinos, algas, plancton, organismos bentónicos, personas, navegación y estructuras artificiales.
- ✓ Se ha determinado la Vulnerabilidad (Índice y Grado), la Resiliencia (Índice, Grado y Tiempo de Resiliencia) y la Recuperación Inducida, por medios mecánicos, por medios químicos y por medios biológicos, de las estructuras utilizadas como base de aerogeneradores marinos susceptibles de ser afectadas por vertidos de grasas y aceites.
- ✓ Se ha utilizado el Modelo AHUYENTADORES 2 para determinar el número de ahuyentadores que deben colocarse en un parque eólico concreto para evitar que diferentes aves marinas impacten en ellos, con el consiguiente peligro para sus vidas. Así para un parque eólico de 5000 por 6800 metros sería necesario colocar 30 ahuyentadores para evitar que los cormoranes comunes se acercaran a dicho parque.
- ✓ Mediante el modelo S.O.N.I.A. se ha calculado la longitud de la barrera necesaria para contener los aceites y grasas que puedan derramarse desde la góndola de un aerogenerador, durante los procesos de cambio de aceite, o debido a un accidente. Así para un vertido de 15 por 5 metros, sería necesario una barrera de 50 metros de longitud. Su coste está comprendido entre 15.000 y 20.000€. El coste del carretel necesario es de 30.000€.
- ✓ Se ha calculado igualmente la longitud de la doble barrera de protección y la distancia de separación de la primera barrera para evitar que los hidrocarburos sigan esparciéndose en la superficie del mar. Así para un derrame de 285 metros de longitud y 20 de anchura, es necesaria una barrera de 521 metros de longitud. Su coste está comprendido entre 156.300€ y 160.500€. El coste del carretel necesario, para el almacenamiento y despliegue de dicha barrera es de 90.000€.
- ✓ Se ha abordado toda la problemática referente a la recuperación, mediante “*skimmers*”, de los aceites y grasas que puedan derramarse durante el cambio de los mismos u originados por un accidente en la góndola, evitando así que contaminen el medio circundante al derrame.

- ✓ Se propone la técnica de aplicación de adsorbentes para recuperar los aceites y las grasas procedentes de la góndola de un aerogenerador, como técnica no contaminante.
- ✓ Se analiza el tratamiento, mediante dispersantes, de las grasas y los aceites procedentes de posibles vertidos de aerogeneradores llegándose a la conclusión de que dada su elevada viscosidad no es aconsejable su tratamiento mediante dispersantes.
- ✓ Igualmente se descarta el quemado de los aceites y grasas, como técnica de eliminación, debido a los problemas medioambientales que generan (formación de monóxido y dióxido de carbono, hollines, óxidos de nitrógeno y partículas en suspensión) y al riesgo de incendio de la góndola del aerogenerador.



Respuestas a los impactos ambientales derivados de la generación eléctrica: el caso de los aerogeneradores marinos.

**BIBLIOGRAFÍA.**

- Álvarez, C. (2006): “*Energía eólica. Manuales de energías renovables*”. Instituto para la Diversificación y el Ahorro de Energía. Ministerio de industria, turismo y comercio. Madrid. [http://www.energiasrenovables.ciemat.es/adjuntos\\_documentos/Energia\\_Eolica.pdf](http://www.energiasrenovables.ciemat.es/adjuntos_documentos/Energia_Eolica.pdf)
- Asociación Empresarial Eólica, (AEE). <http://www.aeeolica.org/>
- Bergueiro, Ramón (2009): “*EL MODELO S.O.N.I.A: SU APLICACIÓN A LA GESTIÓN DE DERRAMES DE HIDROCARBUROS EN EL MAR*”. I JORNADAS NACIONALES DE SEGURIDAD Y CONTAMINACIÓN MARINA. Escuela Técnica Superior de Náutica, Máquinas y Radioelectrónica Naval – ULL. 7, 8 y 9 de Mayo de 2009.
- Bergueiro, José Ramón y Moreno, Silvia. (2002). “*LIMPIEZA Y RESTAURACIÓN DE COSTAS CONTAMINADAS POR HIDROCARBUROS: PROCEDIMIENTO OPERACIONAL*”. I.S.B.N.: 699-8769-0. Depósito Legal: PM 1.203-2002. pp.1-442.
- Bergueiro, Ramón y A. Martí y J.M. Calvilla, (2013), “*EL IMPACTO DE LOS VERTIDOS DE HIDROCARBUROS EM LAS AVES MARINAS: SU GESTIÓN INFORMATIZADA*”. Congreso CAIP 2013. Computación Aplicada a la Industria de Procesos. Lima, (Perú).
- CONSULTORÍA MEDIOAMBIENTAL (MEDA), documento desarrollado como parte de un proyecto financiado por el Programa ALTENER de la Comisión de las Comunidades Europeas, (2003): “*WINDTOUR METHODOLOGICAL GUIDELINES FOR THE ENVIRONMENTAL AND SOCIOECONOMIC IMPACT ASSESSMENT OF OFF-SHORE WINDFARMS IN TOURISTIC AREAS ALTENER PROGRAMME 2001 Project N° 4.1030/Z/01-036/2001*”. Madrid (España) y Linda-a-Velha (Portugal). [http://www.agenergia.org/files/resourcesmodule/@random49917eec3c3bd/1234274481\\_Metodologia\\_EIA\\_Parq\\_Eol\\_Marino\\_WINDTOUR\\_03.pdf](http://www.agenergia.org/files/resourcesmodule/@random49917eec3c3bd/1234274481_Metodologia_EIA_Parq_Eol_Marino_WINDTOUR_03.pdf)
- Couñago Lorenzo, B.; Barturen Antépara, R.; Díaz Huerta, I. (2010): “*Estudio técnico-financiero sobre la construcción de un parque eólico marino flotante en el litoral español*”. Tecnalia; Construcciones Navales del Norte (Vizcaya), UNINAVE (Madrid). <http://oa.upm.es/6277/>
- Dirección General de Industria y Energía. Govern de les Illes Balears, (2010). “*ESTADÍSTICAS ENERGÉTICAS DE LAS ISLAS BALEARES*”. Illes Balears. <http://www.caib.es/sacmicrofront/contenido.do?mkey=M0807081137367224693&lang=CA&cont=7491>

- EIA. Agencia de Administración de Información de Energía de EE.UU. (2013). <http://actualidad.rt.com/economia/view/101290-energia-mundo-aumento-china-india>
- Esteban Pérez, María Dolores (2009): *“Propuesta de una Metodología para la Implantación de Parques Eólicos Offshore”*. <http://oa.upm.es/2016/>
- Gobierno de España. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio e IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía), (30 de Junio 2010). *“Plan Nacional de Acción de Energías Renovables de España, (PANER, 2011 - 2020)”*. Madrid. [http://www.minetur.gob.es/energia/desarrollo/EnergiaRenovable/Documents/20100630\\_PANER\\_Espanaversion\\_final.pdf](http://www.minetur.gob.es/energia/desarrollo/EnergiaRenovable/Documents/20100630_PANER_Espanaversion_final.pdf)
- Gobierno de España. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio. *Proyecto AZIMUT Energía Eólica “Offshore” 2020, (2011)*. <http://www.ba.ieo.es/investigacion/grupos-de-investigacion/resmare/proyectos/750-azimut>
- GREENPEACE, *“Viento en Popa: La necesidad de un plan eólico marino en España”*. Junio 2003. <http://www.greenpeace.org/espana/Global/espana/report/other/viento-en-popa.pdf>
- IDAE: *Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía*. [www.idae.es](http://www.idae.es).
- IDEIB: *Institut de Dades Especials de les Illes Balears*. [www.ideib.cat](http://www.ideib.cat).
- Instituto de Investigaciones Ecológicas (INIEC, 2006), *Máster en Gestión de Energías Renovables*. Publicación Vertice S.L. tomos 1-4, 2006.
- López González, Primitivo et al, (2010). *“LAS ENERGÍAS RENOVABLES MARINAS”*. CONAMBA 10 Congreso Nacional del Medio Ambiente. Grupo MADES (Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible. Colegio Oficial de Ingenieros Navales y Oceánicos). Del 22 al 26 de noviembre del 2010, Madrid. <http://www.conama10.es/web/generico.php?idpaginas=&lang=es&menu=90&id=82&op=view>
- Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, Ministerio de Medio Ambiente y Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, (2009): *“Estudio Estratégico Ambiental del litoral español para la instalación de parques eólicos marinos”*. [http://www.aeeolica.org/uploads/documents/562-estudio-estrategico-ambiental-del-litoral-espanol-para-la-instalacion-de-parques-eolicos-marinos\\_mityc.pdf](http://www.aeeolica.org/uploads/documents/562-estudio-estrategico-ambiental-del-litoral-espanol-para-la-instalacion-de-parques-eolicos-marinos_mityc.pdf)
- Red Eléctrica de España, (2012). *“Proyecto Rómulo Interconexión Eléctrica Península – Baleares”*. <http://electrica.uc3m.es/geste/ROMULO.pdf>

- Vía elmundo.es, UK Wind Energy Database, (2012). "*Proyecto Eolia*". <http://www.sectorelectricidad.com/wp-content/uploads/2012/11/parque-eolico-marino-offshore.jpg>