

Proyecto: **Plan de desarrollo regional para el uso de la energía proveniente del oleaje atlántico**



**Con la participación de la Unión Europea.
Proyecto cofinanciado por el FEDER**



ESPAÑA ESPACIO ATLÁNTICO
FRANCE ESPACE ATLANTIQUE
IRELAND ATLANTIC AREA
PORTUGAL ESPACO ATLÁNTICO
U.K. ATLANTICAREA

Fecha: 15/01/07
25/02/07

Autor: Instituto Tecnológico y de Energías Renovables, SA (ITER, SA)

ACCIÓN I.1

ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS DIFERENTES FUENTES DE ENERGÍA RENOVABLE MARINA

TABLA DE CONTENIDO

1. Introducción	1
2. El Océano como fuente de energía	3
3. Aprovechamiento de la energía del océano	5
3.1. Viento de ultramar	5
3.1.1. Tecnología	6
3.2. Descargas de las mareas	6
3.2.1. Tecnología	7
3.3. Energía de las corrientes marinas	8
3.3.1. Tecnología	9
3.4. Energía de las olas	10
3.4.1. Tecnología	11
3.5. Conversión de la energía térmica	12
3.5.1. Tecnología	12
3.6. Diferencias de presión osmótica	13
3.6.1. Tecnología	14
4. Impacto ambiental	15
4.1. Morfología oceánica	15
4.1.1. El margen continental	15
4.1.2. Morfología del litoral	15
4.2. Los sedimentos oceánicos	16
4.2.1. Dinámica sedimentaria	17
4.3. Impactos ambientales sobre el medio marino	19
4.3.1. Impacto sobre la vida del litoral	20
4.3.2. Impacto sobre la vida en el mar	20
4.3.3. Impacto sobre la morfología del litoral	20
4.3.4. Otros impactos	20
4.4. Caracterización del impacto	21
5. Estado actual y perspectivas de futuro	22
5.1. Viento ultramar	22
5.2. Descarga de las mareas	22
5.3. Energía de las corrientes marinas	23
5.4. Energía de las olas	23
5.5. Conversión de la energía térmica	23
5.6. Diferencias de presión osmótica	23

1. INTRODUCCIÓN

El excepcional patrimonio natural litoral justifica, por sí solo, la tradicional relación de los habitantes de las zonas costeras con el mar. De su equilibrada utilización obtuvieron siempre las gentes de las islas, principalmente, muchos beneficios. Tanto al aprovechar sus recursos económicos, como las satisfacciones culturales y de disfrute que el mar puede proporcionar.

Sin embargo, en las últimas décadas, bajo las presiones del crecimiento demográfico y de la masiva afluencia de visitantes a las zonas costeras, se ha ido perdiendo el equilibrio en el que esta relación se basaba.

Es necesario superar los enfoques sectoriales que impiden una aproximación coherente al mar y al territorio litoral. Desde un planteamiento globalizador se debe entender este mar, a la vez como espacio a preservar y como recurso a utilizar; como lugar de ocio para el residente y el turista; de trabajo para el pescador; de estudio para el científico; y de vida para la flora y la fauna terrestre y marina.



Figura I.1.1. El litoral marca la especial relación entre el hombre, en particular del isleño, y el mar.

El mar no es otra cosa que una inmensa masa de agua en movimiento bajo el influjo de la atmósfera y la rotación terrestre, y de las atracciones gravitatorias entre la Tierra, la Luna, el Sol y el resto de astros.

A medida que vamos poblando la superficie terrestre sus fuentes de recursos más accesibles se van agotando, por lo que se hace necesario mirar cada vez más al océano como suministro para nuestras futuras necesidades.

En la actualidad, el océano representa para la humanidad la mayor fuente de recursos naturales sobre el planeta; entendiéndose por recursos naturales todos los materiales químicos, componentes geológicos, suelo, agua, seres vivos, asociaciones biológicas y poblaciones humanas que forman parte de la naturaleza y que brindan al hombre posibilidades de vida y bienestar, y que son fundamentales para establecer la riqueza de la economía de los países.



Figura 1.2. El océano, un gigantesco electrolito en continuo intercambio de energía con el medio que le rodea.

El océano tiene una influencia decisiva en las características del clima zonal. El mar absorbe calor o lo desprende más despacio que la tierra, por lo que puede enfriar o calentar el ambiente gracias a la circulación de las brisas marinas. Atmósfera y océano se presentan como un conjunto muy unido: el océano calienta la atmósfera cuando está fría y la enfría cuando está caliente; la atmósfera provoca las olas del mar y pone en marcha las corrientes superficiales, renovando el agua.

Los recursos pesqueros y los energéticos fueron los primeros que se explotaron en el océano; sin embargo, en los inicios del siglo XX se comenzó a pensar en la utilización de otros recursos marinos, como la energía de las mareas y del oleaje capaz de ser transformada en electricidad; también surgieron varios proyectos que pretendían aprovechar la energía electromagnética acumulada en forma de calor en las masas de agua oceánica, y en la segunda mitad del presente siglo, simultáneamente al conocimiento teórico, se desarrolló la explotación práctica de estos recursos, construyéndose las primeras plantas industriales dedicadas a aprovecharlos.

2. EL OCÉANO COMO FUENTE DE ENERGÍA

El mar es un sistema caótico y complicado. Se puede considerar como un medio mecánico fijo a un sistema no inercial, la Tierra, sometido a interacciones gravitacionales complejas y difíciles de soslayar. Molecularmente está formado por un líquido no ideal, que contiene una infinidad de iones disueltos. Los intercambios de energía a los que está sometido son complicados y difíciles de modelar satisfactoriamente.

Los océanos suponen una gran reserva de diversas formas de energía, consistente en un almacenamiento de energía solar y gravitacional, causando el incesante movimiento de inimaginables kilómetros cúbicos de agua. Esta energía es generalmente difusa en extensión, pero significativamente más concentrada que otras formas de energías renovables que actualmente se aprovechan con éxito sobre tierra.

Las dos propiedades físicas más importantes del agua de mar son la temperatura y la salinidad, que determinan la densidad del agua. En el océano la densidad suele aumentar con la profundidad, de modo que las capas de agua superiores se apoyan siempre en otras de mayor densidad. No obstante, esta situación de equilibrio puede verse rota por multitud de factores y, en un momento dado, encontrarse aguas más densas sobre otras de una densidad ligeramente inferior. Esto provoca una inestabilidad gravitacional que empuja el agua más pesada a hundirse, mientras que la capa subsiguiente, más ligera, asciende para ocupar su lugar, estableciéndose una circulación en la vertical.



El excesivo uso de los combustibles fósiles provocará problemas medio ambientales a medio y largo plazo, dichos problemas pueden minimizarse con el uso de fuentes de energía limpia. Es hora de empezar a trabajar seriamente en el desarrollo y perfeccionamiento de sistemas para la extracción de la abundante energía del océano.

En el pasado, incluso existiendo unas necesidades similares a las de hoy en día, la explotación de la energía del mar se veía dificultada por la imposibilidad de construir equipos que resistieran las duras condiciones del entorno.

Sin embargo, los últimos desarrollos en ingeniería de ultramar, en particular la relacionada con la extracción de hidrocarburos en alta mar, han introducido nuevas posibilidades. Hoy en día, las plataformas se construyen con una capacidad de operación diaria y una durabilidad de décadas, gracias a los avances en el diseño de las estructuras y el comportamiento de los materiales para su supervivencia ante fuertes tormentas y la corrosión que provoca el medio sobre el que trabajan. De hecho, muchas de estas plataformas resultan más longevas que el propio yacimiento, por lo que resultan un problema una vez que éste se ha agotado.

La combinación de la necesidad de encontrar una fuente extensa de energía limpia y los nuevos conocimientos en ingeniería de ultramar ofrecen un desafío interesante y potencialmente importante para el desarrollo de técnicas fidedignas y económicas para la extracción de la energía de los océanos. De hecho, hay una serie de formas de energía en el mar que pueden ser explotadas de diferentes maneras:

- La radiación solar incidente sobre los océanos, en determinadas condiciones atmosféricas, da lugar a los gradientes térmicos oceánicos a bajas latitudes y profundidades menores de 1.000 metros.
- La alteración de los vientos y las aguas son responsables del oleaje y de las corrientes marinas.
- La influencia gravitacional de los cuerpos celestes sobre las masas oceánicas provoca mareas.
- Las diferencias de temperatura y de densidad en el agua del mar generan diferencias de salinidad, que pueden también ser aprovechadas para la obtención de energía.

3. APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA DEL OCÉANO

La energía de los océanos se presenta con una gran perspectiva de futuro, ya que el recurso de los mares es el menos explotado y el que presenta mayor superficie de aplicación, ya que los océanos cubren las 4 / 5 partes del planeta.

3.1. VIENTO DE ULTRAMAR

Es una adaptación de la tecnología para el aprovechamiento eólico sobre tierra firme. Generalmente los vientos sobre la superficie del mar son más fuertes y consistentes que los que soplan en tierra, además, muchos de los problemas ambientales, como son la ocupación del terreno y el impacto visual, no se producen en el caso de un aprovechamiento ultramarino.

Se presume que, en un futuro próximo, las instalaciones de aprovechamiento del viento de ultramar sea una importante fuente energética en Europa. Durante la próxima década se construirán parque eólicos de cientos de megavatios de producción en los mares europeos.

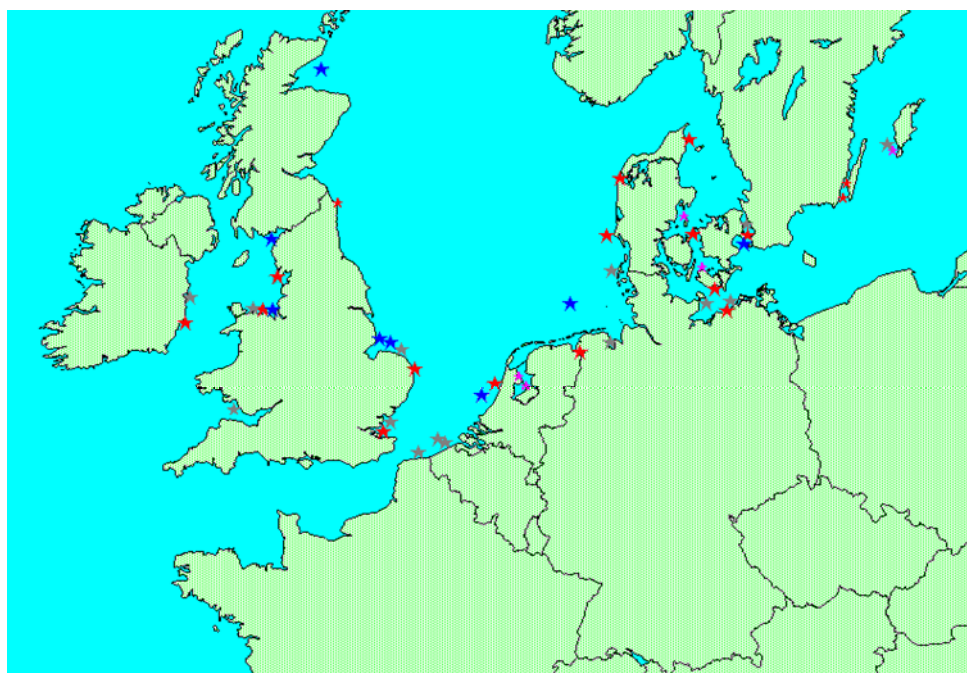


Figura 3.1. Distribución de parques eólicos en ultramar en la costa noroeste de Europa. Rojo: Parques de gran potencia, construidos. Púrpura: Parques de pequeña potencia, construidos. Azul: En construcción. Gris: En planificación. Fuente: Offshore Windenergy Europe (www.offshorewindenergy.org)

Actualmente este tipo de instalaciones sale excesivamente costosa, ya que el coste añadido por realizar la instalación en un entorno tan agresivo recorta drásticamente los beneficios. Se presume que en un futuro, a medida que la disponibilidad del terreno para la instalación de los parques de aerogeneradores disminuya, empezará a tener sentido la instalación de estos mecanismos en alta mar.

3.1.1. Tecnología

Los aerogeneradores que se emplean en la actualidad, para este tipo de instalaciones, son básicamente los mismos que se emplean para el aprovechamiento en tierra firme, pero con ligeras modificaciones. Estas modificaciones se centran, principalmente, en las dimensiones del generador y la redundancia en componentes e instrumentación, particularmente del sistema eléctrico.



Figura 3.2. Vista general del parque eólico de Horns Rev, en la costa oeste de Dinamarca. Fuente: www.hornsrev.dk

El paulatino desarrollo de esta tecnología llevará al diseño de máquinas específicas para este tipo de instalaciones. Las modificaciones necesarias en los aerogeneradores incluirán:

- Máquinas de mayor potencia, entre 5 MW y 10 MW.
- Mayores velocidades de rotación, debido, entre otros motivos a la menor restricción por ruidos. De esta forma se pueden alcanzar valores óptimos de rotación.
- Generadores mayores, para un mismo tamaño del rotor, de forma que se pueda mejorar la eficiencia.
- Aumentar el voltaje de generación, tanto en corriente continua como alterna.

3.2. DESCARGAS DE LAS MAREAS

Un recurso importante en el océano es el fenómeno de la marea, movimiento de agua del mar por el que las orillas de los continentes quedan cubiertas o descubiertas en intervalos de tiempo particulares; por ejemplo, en las costas de Francia se presentan diariamente dos pleamares y dos bajamares, mientras que en las de Asia sólo se presenta una cada 24 horas.

La amplitud de la marea, diferencia de nivel entre la pleamar y la bajamar consecutivas, cambia: en las costas atlánticas del Canadá puede sobrepasar los 19 metros, mientras que en el Mediterráneo sólo alcanza unos cuantos centímetros.

Son principalmente causadas por el movimiento de los océanos y están gobernadas por la interacción de los campos gravitacionales de la Tierra, el Sol y la Luna. Su intensidad está en íntima relación con las posiciones relativas del Sol y la Luna respecto a la Tierra.

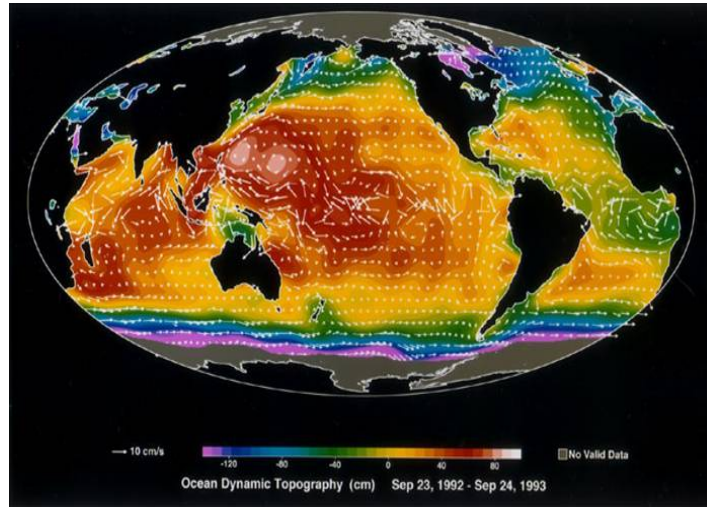


Figura 3.3. Si se observa el movimiento del mar se ve que éste no es constante, si no que tiene un movimiento rítmico de subida y bajada.

Se puede demostrar que la influencia de la Luna es 2,35 veces mayor que la del Sol, en la producción de las mareas, debido a que, aunque la Luna tiene una masa mucho menor, está mucho más cerca de la Tierra.

3.2.1. Tecnología

Los cambios en la intensidad de las mareas han sido aprovechados para producir energía, la idea de utilizarla data del siglo XI, época en la que se construyeron los “molinos de marea” para moler trigo.

En la actualidad se han formado las centrales mareomotrices, en las que grandes turbinas transforman la energía de las mareas en energía eléctrica.

En estuarios o en otras ensenadas semi cerradas, con un gran recorrido de marea, es posible construir presas que permita el paso del agua del mar, a través de una turbina, durante la pleamar. El agua puede almacenarse en una laguna artificial y dejarla pasar por la turbina, en la dirección contraria, durante la bajamar. En esencia, este tipo de sistemas es igual que el aprovechamiento que se hace en centrales minihidráulicas.



A finales de la década de los 60 se montó un dispositivo de 240 MW en el estuario del río La Rance, Francia, cerca de St. Malo. La diferencia de mareas en este lugar puede llegar hasta los 13,4 metros. La anchura de la presa es de 760 metros.

Desde entonces se han realizado diferentes estudios sobre este tipo de aprovechamientos, destacando entre ellos uno para la producción de 7 GW en el Reino Unido.

El obstáculo principal para la explotación de esta fuente es el económico. Los costes de inversión tienden a ser altos con respecto al rendimiento, debido a las bajas y variadas cargas hidráulicas disponibles. Estas cargas exigen la utilización de grandes equipos para manejar las enormes cantidades de agua puestas en movimiento. Por ello, esta fuente de energía es sólo aprovechable en caso de mareas largas, al menos cinco metros, y en lugares en los que el cierre no suponga construcciones demasiado costosas.



Figura 3.4. Costas con amplitudes de marea superiores a cinco (5) metros.

La limitación para la construcción de estas centrales no solamente se centra en el mayor coste de la energía producida, si no en el impacto ambiental que generan. Ambos factores hacen prever un escaso o nulo desarrollo en el futuro.

3.3. ENERGÍA DE LAS CORRIENTES MARINAS

Las corrientes marinas son causadas, entre otros factores, por las subidas y bajadas de las mareas, resultantes de la interacción gravitatoria entre la Tierra, el Sol y la Luna. Esta interacción fuerza al océano a moverse, aunque hay otros efectos que también influyen: diferencias locales de temperatura, salinidad o la fuerza de Coriolis debida al movimiento del planeta.

El término “corrientes marinas” engloba diferentes tipos de corrientes oceánicas. Por un lado están las originadas por el viento, que afectan a la zona superficial de los océanos. Por otro lado, las originadas por los gradientes térmicos y de salinidad, corrientes generalmente lentas y de aguas profundas. Independientemente de su origen, este tipo de corrientes son menos propicias para el aprovechamiento energético que las originadas por las mareas, ya que en general son más lentas que estas últimas.

Estudios recientes indican que las corrientes marinas poseen suficiente potencial como para suplir una fracción significativa de las necesidades eléctricas de la UE y, en el caso de que se explotara satisfactoriamente, la tecnología desarrollada sería una importante base para una era industrial de producción de energía limpia.

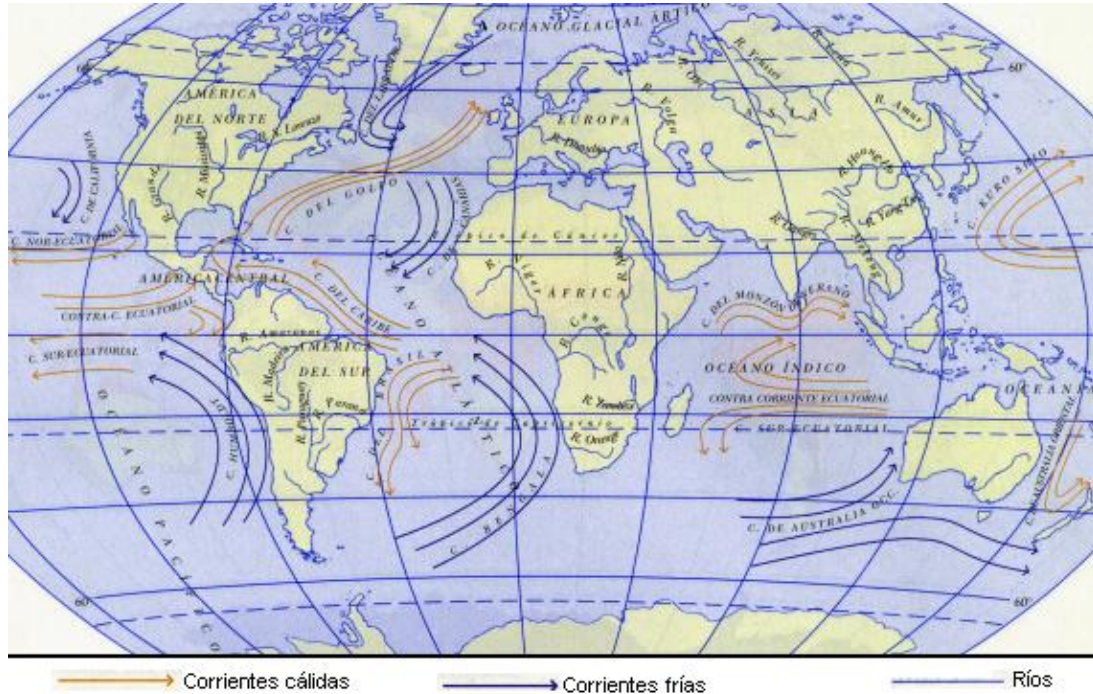


Figura 3.5. Principales corrientes marinas en el mundo.

3.3.1. Tecnología

La energía cinética de las corrientes marinas puede ser transformada en energía útil para el ser humano usando dispositivos similares a los que se emplean para la obtención de la energía del viento, es decir, turbinas de eje tanto vertical como horizontal.

En contraste con el aire atmosférico, las corrientes marinas pueden ser fácilmente predecibles, debido a que su movimiento está generalmente condicionado por condicionantes locales. Además, debido a que la densidad del agua de mar es 850 veces superior a la del aire, la potencia disponible es significativamente mayor. Como consecuencia, el tamaño de la turbina necesaria es mucho menor, para la misma capacidad de generación eléctrica.

Los sistemas de aprovechamiento de este tipo de energía están sujetos a los efectos corrosivos del agua del mar. Esto provoca que los costes de material y construcción sean muy elevados. Al mismo tiempo, las labores de mantenimiento también son caras, debido a que, generalmente, estos dispositivos se encuentran sumergidos en el mar.

3.4. ENERGÍA DE LAS OLAS

Las olas son el resultado del efecto del viento soplando a lo largo de cientos o miles de kilómetros en mar abierto, lo que origina una transferencia de energía cinética hacia la superficie del océano. Son, por tanto, una forma de energía cinética a la que se puede acceder usando diversos mecanismos armónicos que responden al movimiento de las olas, captando parte de su energía.



Figura 3.6. Las olas se desplazan grandes distancias sin apenas pérdida de energía.

El oleaje se entiende como un derivado terciario de la energía solar. El calentamiento desigual de la atmósfera terrestre genera viento, y el viento genera olas. Únicamente el 0,01 % del flujo de la energía solar se transforma en energía de las olas.

Una de las propiedades características de las olas es su capacidad de desplazarse a grandes distancias sin apenas pérdida de energía. Por ello, la energía generada en cualquier parte del océano acaba en el borde continental, de esta manera, su energía se concentra en las costas.

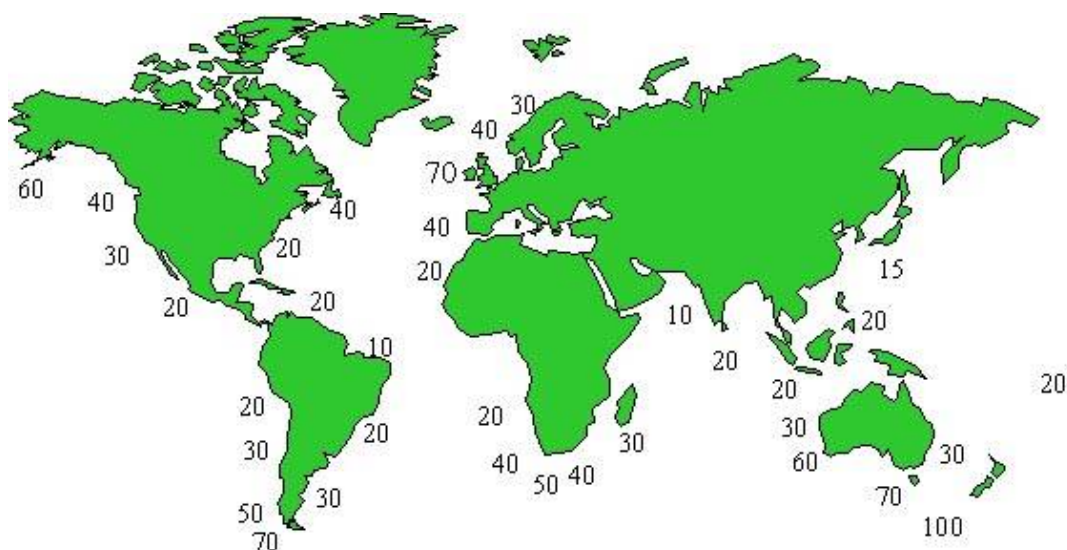


Figura 3.7. Distribución mundial de la energía de las olas en kW/m de longitud de ola.

La energía contenida en las olas varía de un sitio a otro pero, en general, cuanto más alejadas del ecuador estén, más energía contendrán. Aunque condiciones locales, tales como, tipo de costa, lugar donde se generen y profundidad del océano, tienen una gran importancia en la definición de la cantidad de energía.

Según estimaciones, se puede asumir que el flujo de energía de las olas en Europa equivale a 1000 TWh anuales y su distribución es:

- Costa noroeste 75%
- Costa del Mar del Norte 1,5%
- Costa del Mediterráneo 23,5%

Esta distribución define el total de energía disponible a lo largo de una línea paralela a la costa en las áreas anteriormente mencionadas e incluyendo olas en todas las direcciones. Todo este potencial no es aprovechable, debido a causas medioambientales y otras restricciones, pero da una idea del límite superior.

3.4.1. Tecnología

Existen un gran número de dispositivos pensados para el aprovechamiento de este tipo de energía, en claro contraste con cualquier otro tipo de aprovechamiento de energía renovable. A pesar de que hay unas 1000 patentes mundiales de generadores energéticos de olas (GEOs), los conceptos en los que se basan se pueden clasificar en unos pocos tipos básicos:

- **Columna oscilante de agua.** Oscilación del agua dentro de una cámara semi-sumergida y abierta por debajo del nivel del mar. Se produce un cambio de presión del aire por encima del agua.
- **Sistemas totalizadores.** Pueden ser flotantes o fijos a la orilla. Atrapan la ola incidente, almacenando el agua en una presa elevada. Esta agua se hace pasar por unas turbinas al liberarla.
- **Sistemas basculantes.** Pueden ser tanto flotantes como sumergidos. El movimiento de balanceo se convierte a través de un sistema hidráulico o mecánico en movimiento lineal o rotacional para el generador eléctrico.
- **Sistemas hidráulicos.** Sistemas de flotadores conectados entre sí. El movimiento relativo de los flotadores entre sí se emplea para bombear aceites a alta presión a través de motores hidráulicos, que mueven unos generadores eléctricos.

- **Sistemas de bombeo.** Aprovechan el movimiento vertical de las partículas del agua. Genera un sistema de bombeo mediante un flotador una manguera elástica.

3.5. CONVERSIÓN DE LA ENERGÍA TÉRMICA

Es una técnica para extraer energía de la diferencia de temperatura entre la superficie del mar y las zonas de mayor profundidad. En los mares tropicales, el agua de la superficie puede estar entre 20 y 30 °C más caliente que la de las profundidades, las cuales se encuentran en el orden de 5 °C. Para el aprovechamiento es suficiente una diferencia de 20 °C.

Las ventajas de esta fuente de energía se asocian a que es un salto térmico permanente y benigno desde el punto de vista medioambiental. Puede tener ventajas secundarias, tales como alimentos y agua potable, debido a que el agua fría profunda es rica en sustancias nutritivas y sin agentes patógenos.

Las posibilidades de esta técnica se han potenciado debido a la transferencia de tecnología asociada a las explotaciones petrolíferas fuera de costa. El desarrollo tecnológico de instalación de plataformas profundas, la utilización de materiales compuestos y nuevas técnicas de unión harían posible la construcción de plataformas, pero el máximo inconveniente es el económico.

Otro inconveniente importante es su bajo rendimiento, debido a la baja temperatura del foco caliente y la poca diferencia de temperatura entre el foco frío y caliente. Además, es preciso realizar un aporte extra de energía, empleado para el bombeo de agua fría de las profundidades para el condensado de los fluidos.

3.5.1. Tecnología

Los convertidores de energía térmica aprovechan la diferencia de temperatura para producir energía haciendo uso del ciclo de Rankine, mediante la conversión de la energía térmica en mecánica.

Las máquinas térmicas son mecanismos cíclicos que reciben calor de una fuente caliente (de alta temperatura), producen un trabajo neto y eliminan calor a un sumidero térmico de baja temperatura. Cuanto mayor sea la diferencia de temperatura entre la fuente de calor y el sumidero, mayor será la eficiencia de la conversión energética.

Un dispositivo para la conversión de la energía térmica del océano consiste en una máquina térmica diseñada para operar entre una temperatura relativamente cálida, como es la de la superficie del océano, y otra más baja, como la temperatura del agua que se encuentra a grandes profundidades.

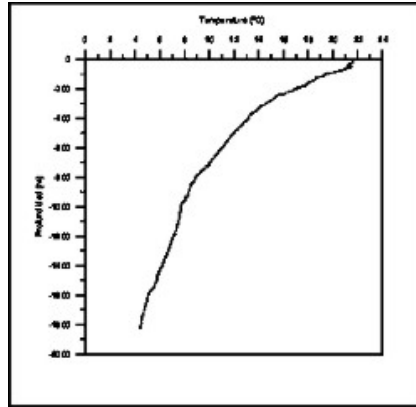


Figura 3.8. Variación de la temperatura del agua de mar con la profundidad.

En la práctica, la diferencia de temperatura requerida para que la operación resulte económica es de alrededor de 20°C. A un nivel de 600 a 900 metros bajo la superficie del océano, la temperatura es de aproximadamente 5°C. Luego, el mínimo de temperatura de la superficie del océano debe oscilar entre 25°C y 30°C.

El rendimiento teórico de una máquina térmica está limitado por el principio de Carnot. Una máquina térmica evolucionando entre 4°C y 30°C tendría un rendimiento máximo de 8,6%, que en la práctica se reduciría a valores del orden de un 3% a un 4%, por lo que la generación de una cantidad de energía apreciable, del orden de los MW, exige utilizar enormes cantidades de agua.

3.6. DIFERENCIAS DE PRESIÓN OSMÓTICA

Las características más importantes del agua de mar son su salinidad, temperatura y densidad. La salinidad del agua de mar se determina principalmente midiendo su conductividad eléctrica, método que resulta bastante exacto.

La salinidad de las aguas superficiales depende principalmente de la diferencia entre la evaporación y la precipitación. Otros factores menos importantes son el congelamiento y el derretimiento del hielo marino. En zonas de alta evaporación, tales como el Mar Rojo, la salinidad puede ser tan alta como 40 partes por mil. En la mayor parte de los mares, sin embargo, el rango de salinidad varía entre 33 y 37 partes por mil, con un valor promedio de 35 partes por mil. Los valores más altos de salinidad ocurren cerca de las áreas tropicales áridas; mientras que los valores más bajos se presentan cerca de las regiones polares.

La distribución vertical de la salinidad, que es muy similar a la distribución vertical de temperaturas, puede ser expresada en tres o cuatro zonas.

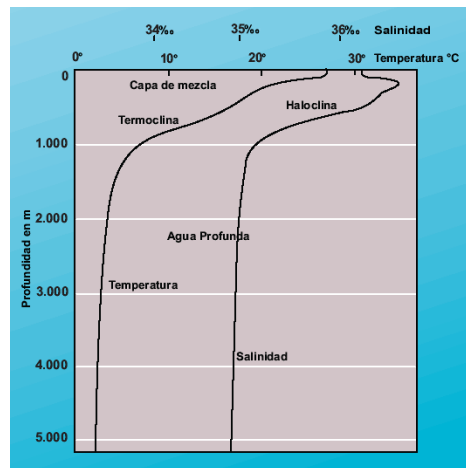


Figura 3.9. Distribución vertical de la salinidad y la temperatura para una región oceánica.

La salinidad es más variable en regiones costeras debido a la influencia de los ríos locales y del escurrimiento de aguas subterráneas. En los puntos en los que el agua de los ríos entra a raudales en el mar se produce una gran liberación de energía. Esta energía se obtiene al diluirse el agua salada por la irrupción del agua dulce, en realidad es una devolución de la energía del sol que ha evaporado el agua del mar y que vuelve a él a través del ciclo hidrológico.

Hay una gran cantidad de energía disponible, aproximadamente $2,65 \text{ MW m}^3/\text{s}$ de agua dulce que se mezcla con la salada. Es decir, el equivalente a un muro de agua de 270 m de altura en cada punto donde el río contacta con el mar.

3.6.1. Tecnología

Desafortunadamente no se ha podido desarrollar ningún método para la extracción de esta gran cantidad de energía, aunque se han sugerido muchas técnicas, como bombas osmóticas o la utilización de la diferencias entre la presión del vapor de agua dulce y salada para pasar el vapor por una turbina.

4. IMPACTO AMBIENTAL

4.1. MORFOLOGÍA OCEÁNICA

4.1.1. El margen continental

El margen continental es la zona comprendida entre el continente y la llanura abisal o de los grandes fondos oceánicos y es una zona de transición tanto geográfica como geofísica. En el margen continental se pueden diferenciar cuatro grandes divisiones fisiográficas: la zona costera o litoral, la plataforma continental, el talud continental y el glacis continental.

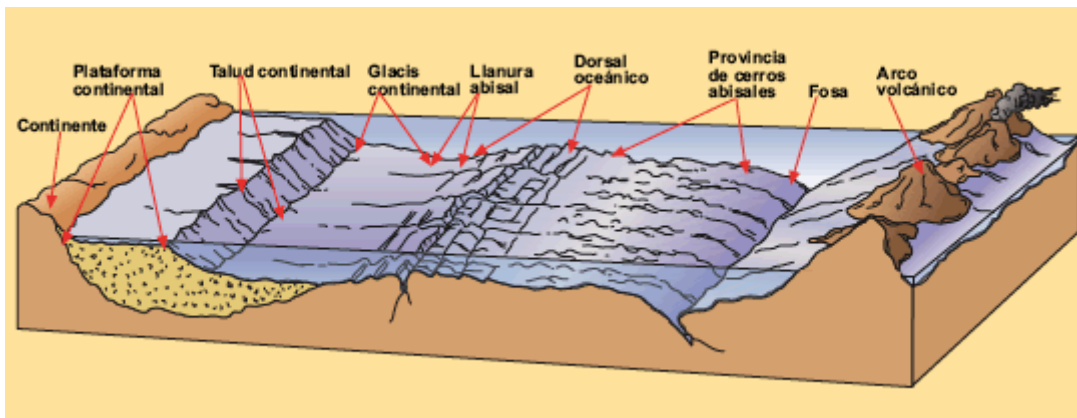


Figura 4.1. Divisiones fisiográficas en el margen continental.

4.1.2. Morfología del litoral

La transición entre el mar y la tierra se produce en las aguas poco profundas de la orilla que cubren las plataformas sumergidas y los estuarios de todo el mundo. Los fenómenos costeros se inician allí con la mezcla, la separación y el transporte de los sedimentos y de las aguas que escurren desde la tierra. Las olas, los vientos y las corrientes dan forma a las costas en todo el mundo, y su interacción con la tierra determina la configuración de la costa y la batimetría adyacente. El movimiento de los sedimentos a lo largo de las orillas es sorprendentemente importante. El transporte de arena de las playas a lo largo de varias costas oceánicas puede alcanzar un volumen superior al millón de metros cúbicos por año.

Las aguas de las orillas y de los estuarios son la porción del mar que predomina, más que cualquier otra cosa, sobre el que hacer cotidiano de la humanidad. Alrededor de dos tercios de la población mundial vive cerca de la costa. Allí es donde las olas, el oleaje provocado por los cambios meteorológicos bruscos, las mareas y los cambios seculares del nivel del mar alcanzan su mayor altura. Las aguas de la orilla dan contra las playas, los puertos y los estuarios, tan importantes para la industria, la recreación y la habitación humana.

Existen varios sistemas de clasificación de litorales, siendo uno de los más habitualmente empleados aquél que se basa en la naturaleza de los agentes geomorfológicos más notables en la modelación de su topografía.

De acuerdo con esta clasificación, las costas son primarias si han sido formadas predominantemente por agentes terrestres o sísmicos (ríos, volcanes, etc.); y secundarias si los agentes responsables de su formación han sido de origen marino (olas, corrientes, etc.). Debido a su situación, el litoral está sujeto a grandes modificaciones y cambios en su aspecto, influyendo fundamentalmente los fenómenos de erosión y sedimentación.

La zona litoral está comprendida por la parte supralitoral, la intermareal y la sublitoral. La parte supralitoral está constituida por la zona azotada por el rocío de las olas y el aerosol del agua salada que la baña. Constituye un hábitat para cierto número de especies marinas.

La parte intermareal o mesolitoral propiamente dicho, está enmarcada por las líneas de pleamar y bajamar, es decir, constituye la franja costera que cubre y descubre periódicamente la marea.

Finalmente, la parte sublitoral se extiende desde la línea de la bajamar hasta el borde de la plataforma continental.

4.2. LOS SEDIMENTOS OCEÁNICOS

Los sedimentos marinos están constituidos por material de diversa textura y procedencia, que bajo diversos factores físicos, químicos y biológicos se acumulan en el fondo marino en capas, donde suavizan la topografía submarina, consolidándose con el transcurso de los siglos y formando rocas sedimentarias. La procedencia de este material es variada, pudiendo obtenerse una clasificación general de los sedimentos de acuerdo con su origen

Una vez el material en el océano, antes de su incorporación al mismo como parte permanente en forma de sedimentos, tiene que sufrir una serie de influencias de tipo físico, químico y biológico que van a incidir directamente en su carácter.

Los factores físicos más importantes son los derivados de la topografía submarina, de las propiedades físicas del agua, de la dinámica del océano y de factores climáticos. Todos interaccionan en el transporte de sedimentos, que es un factor primordial en la determinación del lugar donde se depositan los mismos.

El factor químico que afecta en mayor medida a los sedimentos es la composición relativa del agua de mar, ya que en mayor o menor medida incidirá en la solubilidad de determinados compuestos, y también el pH, que es un índice de su alcalinidad.

Los factores biológicos por otra parte, guardan relación con el número y la clase de organismos presentes, ya que algunos incorporan sílice o calcio para la formación de esqueletos o estructuras rígidas, y otros absorben cierto tipo de sustancias para su conversión en materia orgánica, como es el caso de las plantas marinas.

El clima actúa de manera notable como factor regulador de los sedimentos ya que controla tres factores importantes como son: la temperatura, la salinidad y la distribución de los organismos en el agua.

El material descrito, una vez transportado e interactuado con los diferentes agentes oceánicos, se deposita en el fondo constituyendo los sedimentos.

4.2.1. Dinámica sedimentaria

Las fuentes de donde proceden los sedimentos marinos son los continentes, el propio océano y la atmósfera. La mayor parte de ellos se deriva de la erosión de la tierra continental; es decir, del desgaste de las rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias, que finalmente son transportadas hasta el mar por los ríos. Los de origen oceánico están constituidos por los restos de los organismos que viven en él, así como por las partes que se desprenden de los volcanes submarinos a causa de las corrientes y de la desintegración por acción química. De la atmósfera proceden gases como el bióxido de carbono, que contribuyen a estructurar las calizas marinas, las cuales forman a su vez fangos calcáreos en los fondos marinos.

A la hora de estudiar la circulación de sedimentos vamos diferenciar entre las siguientes zonas:

- Zona de batida. Parte inclinada de la playa comprendida entre los límites de las mareas alta y baja.
- Zona sublitoral. Es la parte más profunda de la playa y da paso gradualmente a la plataforma interna. El límite entre ambas es fluctuante, pues se establece a partir del nivel medio de base del oleaje de buen tiempo, y se extiende una cierta distancia que se llama zona de transición.
- Plataforma continental. A continuación del litoral, no es más que el borde continental sumergido

En la zona de batida el proceso dominante es la batida del oleaje, que selecciona muy bien el sedimento y produce laminación paralela de régimen de flujo alto inclinada hacia el mar. Los grupos de láminas correspondientes a sucesivos episodios de depósito son discordantes entre sí, puesto que la pendiente de la playa varía continuamente y están separados por superficies erosivas que reflejan los arrasamientos periódicos que sufre.

Al pie de la zona de batida se encuentra una acumulación de las fracciones más gruesas de sedimento disponible y de fósiles que forman el escalón. Su estructura interna consiste en estratificación cruzada apuntando hacia el mar si el tamaño de grano permite su desarrollo; en otros casos, cuando el tamaño es muy grueso, sólo se encuentra la acumulación.

En la parte inferior de la zona sublitoral el sedimento más característico es la de arena fina a limo, con laminación paralela. En períodos de tempestad o mar de fondo (oleaje de gran período que ha viajado a gran distancia desde el punto en que fue generado), cuando llegan a la costa olas de grandes longitudes de onda, el fondo puede ser removido y, al decrecer la energía ambiental, se asienta el sedimento nuevamente, generando capas arenosas de espesor variable, con granoselección positiva y estructura interna que registra la disminución energética, de modo semejante a los depósitos de mar somero. En buen tiempo se produce rápidamente la decantación de las fracciones finas que cubren las capas arenosas de tormenta y el fondo suele quedar sometido a bioturbación.

Hacia las zonas más someras, la acción del oleaje sobre el fondo es más intensa y continuada, produciendo estratificación y laminación paralela. Las olas que llegan producen formas de fondo que migran hacia tierra, mientras que la resaca y los vientos de tierra las hacen migrar hacia el mar. Por su parte las corrientes paralelas a la costa generan formas de fondo, también paralelas a aquella. Las mareas pueden dar lugar a un amplio abanico de corrientes perpendiculares, oblicuas o incluso paralelas a la línea de la costa, cuya distinción de los anteriores es más difícil, pues se basaría en la mayor constancia, y en la posible variación regular de la energía reflejada en las estructuras individuales y en las superficies de pausa y reactivación.

En la plataforma continental, el principal agente de transporte sedimentario son las corrientes, ya que la acción de las olas y las mareas es muy escasa:

- Corrientes de deriva. Corrientes superficiales producidas por la acción del viento; se mueven a una velocidad de 100 a 200 m/seg. Distribuyen las partículas procedentes de la costa y la propia plataforma (y no depositadas en ella) por todos los mares y océanos.
- Corrientes de densidad. Movimientos en general lentos de grandes masas de agua que tienden a disponerse estructuradas en capas según su densidad. Las corrientes de densidad más características son las que, procedentes de los polos, van ocupando lentamente el fondo de todos los océanos; estas corrientes a una profundidad entre 1.000 y 2.000 metros tienen una velocidad media comprendida entre 2 y 8 cm/seg., a mayor profundidad la velocidad disminuye. En elevaciones del fondo marino las corrientes aumentan hasta 10 veces su valor, lo que produce una reducción notable de la velocidad de sedimentación con frecuentes interrupciones sedimentarias.

- Una variante de las corrientes de densidad son las de paso de un mar a otro (por ejemplo de un mar cerrado a un mar abierto). Se trata de cambios de masas de agua que intentan amortiguar diferencias de densidad, temperatura o salinidad entre las dos masas acuosas. Se pueden diferenciar dos tipos de circulación desde un mar abierto a un mar cerrado; la primera, de tipo estuario es aquella en la que las aguas superficiales salen y las profundas entran. La segunda (de tipo lagoon o mediterráneo) tiene una circulación en sentido contrario, o sea, superficial desde el mar abierto al cerrado (entran) y las aguas profundas salen. Estos tipos de circulación entre cuencas y los cambios en los mismos regulan la existencia de fases con mayor o menor contenido en nutrientes.

Otros factores influyen en la sedimentación, con carácter más local. Uno de ellos es la naturaleza y morfología del fondo. Cuando éste es de corteza oceánica recientemente formada se está en condiciones óptimas para la formación de sedimentos anómalamente ricos en óxidos de manganeso y de hierro. Otro efecto, de gran interés, es el reflejado en las elevaciones submarinas (seamounts), donde la acción de las corrientes evitan parcial o totalmente el depósito y dan lugar a series condensadas o reducidas.

La actividad volcánica localmente puede dar lugar a acumulaciones de rocas piroclásticas y en regiones más amplias pueden dar contenidos anómalos de vidrio o cenizas volcánicas.

El viento igualmente puede influir de manera local más concretamente en las áreas próximas a desiertos, donde el viento puede llevar hasta regiones marinas lejanas al continente gran cantidad de partículas de tamaño limo en suspensión con lo que se tiene un incremento anómalo de material terrígeno. Se ha considerado que el viento puede ser el agente de transporte principal del material terrígeno en el centro de los océanos y que en la fracción fina no biogénica de los sedimentos oceánicos profundos del 10 al 75 por ciento es de origen eólico.

Otro factor que influye de manera notable es la subdivisión de cuencas que pueda condicionar la circulación de las aguas, de unas a otras. Se pueden dar condiciones especiales en el circulación y cambios alternativos en la misma (de tipo estuario a tipo lagoon, o viceversa), que ocasionan cambios bruscos en la sedimentación pelágica de los mares cerrados.

4.3. IMPACTOS AMBIENTALES SOBRE EL MEDIO MARINO

Los efectos sobre el medioambiente dependerán estrechamente del tipo de dispositivo utilizado.

4.3.1. Impacto sobre la vida del litoral

Algunos de los sistemas de aprovechamiento descritos implican la construcción de sistemas que o bien modifican directamente el entorno al ser construidos sobre ellos, o indirectamente, debido a que se crean, a su alrededor, vías de servicio, transformándose en zonas de paso habitual.

Se genera, por tanto, una destrucción o modificación del hábitat de especies vegetales y animales.

4.3.2. Impacto sobre la vida en el mar

Dependiendo del sistema empleado, se puede llegar a destruir, a nivel local, el hábitat de especies tanto vegetales como animales.



Figura 4.2. Vida en el mar

El área de influencia abarca todas las zonas del litoral, la supralitoral, mesolitoral y sublitoral.

4.3.3. Impacto sobre la morfología del litoral

Se producen modificaciones en los mecanismos de sedimentación, debido a las variaciones en la morfología del litoral.

Al mismo tiempo, se generará un impacto visual debido a esas mismas modificaciones.

4.3.4. Otros impactos

A parte de los ya mencionados, se pueden destacar:

- Impacto visual provocado por los propios sistemas de aprovechamiento energético.
- Impacto sonoro debido al ruido que estos elementos puede llegar a generar
- Impacto sobre las actividades humanas. Como pueden ser modificaciones en zonas de ocio y deportivas, modificaciones que afecten a la navegación y a actividades de pesca, entre otros.



Figura 4.3. Dependiendo del tipo de mecanismo empleado el impacto sobre el litoral puede ser significativo.

4.4. CARACTERIZACIÓN DEL IMPACTO

	VIDA	VIDA MAR			MORF	VISUAL	SONORO
	LITORAL	SUPRA	MESO	SUB	LITORAL		
Viento ultramar	BAJO	MEDIO	MEDIO	--	BAJO	MEDIO	BAJO
Descarga mareas	MEDIO	MEDIO	--	--	ALTO	ALTO	MEDIO
Corrientes marinas	BAJO	MEDIO	--	--	BAJO	BAJO	BAJO
Olas							
Orilla	ALTO	ALTO	MEDIO	MEDIO	ALTO	ALTO	MEDIO
Mar adentro	BAJO		MEDIO		BAJO	BAJO	BAJO
E. Térmica	BAJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	BAJO	BAJO	BAJO

Tabla 4.1. Caracterización del impacto ambiental de las diferentes tecnologías de aprovechamiento de la energía del océano. No se ha incluido la "Presión osmótica" debido a que aún no hay equipos desarrollados.

5. ESTADO ACTUAL Y PERSPECTIVAS DE FUTURO

Durante la última década del siglo XX el precio de los combustibles fósiles y los cada vez mayores problemas de contaminación atmosférica han favorecido el impulso de las energías renovables.

Dentro del campo de las energías renovables, se ha realizado un gran esfuerzo en el desarrollo tanto de la energía solar como la eólica. Siendo éstas las aplicaciones más comunes de este tipo de fuentes energéticas.

En los últimos años se ha empezado a mirar hacia el mar, también como una fuente renovable de energía, convirtiéndose en un valor estratégico dentro de la política energética de Europa.

El apoyo prestado desde las instituciones ha permitido el desarrollo de grupos de investigación en los diferentes campos que este tipo de aprovechamiento abarca. Los estudios y prototipos diseñados han favorecido el nacimiento y desarrollo de una industria dedicada a la explotación de los mares y océanos como recurso energético.

Es de esperar que, en los próximos años, se consoliden, al menos en parte, muchas de estas tecnologías y que pasen de la fase embrionaria en la que la mayoría se encuentran a una fase de madurez.

5.1. VIENTO ULTRAMAR

El aprovechamiento del viento de ultramar cuenta con un gran número de instalaciones en funcionamiento, además de con un importante número de proyectos en fase de diseño o ejecución. Se basa en una tecnología madura que mejorará sensiblemente su presencia en el campo energético con la introducción de optimizados diseños y equipos de mayor potencia.

La costa atlántica presenta unas muy buenas condiciones para la explotación de este tipo de instalaciones. Sin embargo, los archipiélagos que se encuentran en sus aguas no presentan muchas posibilidades para su explotación, debido, principalmente a las grandes profundidades que se alcanzan en la zona litoral.

5.2. DESCARGA DE LAS MAREAS

Las descargas de las mareas dependen fuertemente del lugar y consisten, principalmente, en ingeniería convencional. No hay indicaciones que le auguren un buen futuro, por mucho potencial de aplicación que tenga localmente, debido a su elevado coste y al impacto ambiental que provoca.

En las costas del atlántico norte se presentan las mejores condiciones para su explotación. En los mares archipelágicos atlánticos las condiciones no son nada óptimas.

5.3. ENERGÍA DE LAS CORRIENTES MARINAS

Las fuentes de energía marina de mayor relevancia en Europa son el aprovechamiento de la energía de las olas y las corrientes marinas. Ambas cuentan con grupos de trabajo y desarrollo en Europa con prometedores resultados en la aplicación de técnicas para su explotación en el continente.

Es una tecnología que aún está desarrollo, pero que en principio puede ser utilizada en zonas como Canarias.

5.4. ENERGÍA DE LAS OLAS

Como ya se ha comentado, es una de las fuentes de energía marina que más impulso ha tenido en Europa. Al igual que ocurre con la mayoría de estos aprovechamientos, las mejores condiciones se dan en la zona norte del atlántico.

El aprovechamiento de las olas generadas por el viento resulta factible en las regiones archipelágicas, ya que cuentan con óptimas condiciones durante todo el año.

Junto el viento de ultramar, es la tecnología más desarrollada hasta el momento. Cuenta además con un elevado número de prototipos en fase de pruebas y con mecanismos en un estado de madurez suficiente como para generar dispositivos comerciales.

5.5. CONVERSIÓN DE LA ENERGÍA TÉRMICA

Respecto al aprovechamiento de las diferencias de temperatura, no existen zonas en las aguas europeas donde sea potencialmente aplicable, debido a que no se alcanzan las diferencias de temperaturas mínimas necesarias.

5.6. DIFERENCIAS DE PRESIÓN OSMÓTICA

El aprovechamiento de la diferencia de presión osmótica, a pesar de su gran potencial, es de momento inabarcable. Se necesita mucho trabajo de investigación para proponer algún método eficaz de extracción de esta energía en un futuro no muy lejano.