

RECURSOS GEOLÓGICOS Y ENERGÉTICOS DEL MAR

Por LUIS A. GUTIÉRREZ DÍEZ

Introducción

Durante miles de años, el hombre ha extraído sal y ha capturado peces del océano, pero sólo desde hace unas décadas ha empezado a apreciar todo el potencial de los recursos marinos. En primer lugar, la oceanografía científica está proporcionando nuevos conocimientos sobre todo lo que se encuentra en el mar, y las nuevas tecnologías hacen posible extraer ahora recursos que antes eran inaccesibles; finalmente, el crecimiento de la población y la industrialización de la sociedad hace que aumente la demanda de todo tipo de materias primas.

Entre los recursos del océano está el agua misma, como planta transformadora de la energía solar en proteínas, un almacén de materiales disueltos y agua dulce, una fuente de energía representada por las mareas y las olas, así como por las corrientes, los gradientes térmico y salino y, en el suelo marino, un cúmulo de sedimentos y rocas, que contienen combustibles fósiles y depósitos de minerales.

La explotación de los recursos contenidos en la enorme amplitud y profundidad de los océanos requiere ingentes trabajos de exploración y de desarrollo, dependientes ambos de consideraciones económicas, legales y políticas. Los recursos marinos del fondo de los océanos se encuentran generalmente en áreas no sometidas a régimen de propiedad privada, más allá de los límites de las jurisdicciones nacionales; por otra parte, los recursos contenidos en aguas nacionales se consideran de propiedad común.

Uno de los recursos potenciales del agua del mar que ha resultado más difícil de extraer a nivel económico es el agua dulce. Pero, además de minerales disueltos, el fondo del mar contiene una gran cantidad de nódulos de minerales, principalmente de manganeso, y en el subsuelo submarino se encuentran cantidades ingentes de gas y petróleo.

Recursos geológicos

Son fundamentalmente los yacimientos de minerales consolidados en el fondo del mar (nódulos de manganeso, níquel, cobre y cobalto), así como los minerales disueltos diseminados por todos los océanos (magnesio, sodio, azufre, potasio, bromo, boro, estroncio, uranio, etc.). Se consideran también las arenas y gravas, la propia agua salada (salmuera) y la sal. Finalmente, se considerará la producción de agua dulce a partir del agua del mar.

Minerales

Antes de comenzar con el contenido mineralógico de los océanos, vamos a dar algunas definiciones de las partes que componen los fondos marinos, tomadas del documento de Naciones Unidas de referencia ST/ECA/125, titulado «Recursos minerales del mar».

Se define como «plataforma continental» la zona del fondo del mar situada entre la línea media de bajamar y el cambio marcado de pendiente del suelo que se produce en la arista superior del talud continental. Este cambio de pendiente, que oscila entre un octavo de grado y ángulos considerablemente mayores, se produce habitualmente a profundidades de 130 a 200 metros, pero puede ocurrir excepcionalmente a profundidades de hasta 50 metros, como mínimo, y 500 metros, como máximo. La anchura de la plataforma va desde menos de una milla hasta 800 millas.

El «talud continental», que tiene generalmente de 10 a 20 millas de ancho, se extiende desde el borde exterior de la plataforma continental hasta la emersión continental. La pendiente del talud es muy variable, puesto que oscila desde un mínimo de 3 grados hasta más de 45 grados, siendo normales inclinaciones de 25 grados.

La «emersión continental» es un cono ancho y uniforme de sedimentos, de superficie lisa, que mide de 100 a 1.000 kilómetros de anchura y hasta 10 kilómetros de espesor, y que, donde no existen profundas fosas submarinas, desciende suavemente hacia el océano desde la base del talud continental, por lo general a profundidades de 2.000 a 5.000 metros.

El «fondo del océano o abisal» parece ser una llanura ondulada situada entre los 3.300 y 5.500 metros bajo la superficie de las aguas, cortada por profundas

gargantas denominadas fosas y surcada por montes y mesetas submarinas. La profundidad media de las aguas suprayacentes es de 3.800 metros. Más del 75% del fondo del océano se encuentra a una profundidad inferior a 5.000 metros.

Los recursos minerales del océano pueden clasificarse en tres grandes grupos: el agua propiamente dicha, las sales disueltas y los minerales del suelo y subsuelo marino.

Los 1.500 millones de metros cúbicos de agua oceánica constituyen la mena continua más grande de la tierra. Se calcula que en un kilómetro cúbico de agua (1.025 millones de toneladas de agua) hay aproximadamente 35 millones de toneladas de sólidos.

Los minerales del fondo del océano, a diferencia de los de las aguas que les cubren, esencialmente uniformes, se presentan en depósitos y estructuras diseminadas y muy localizadas por encima y dentro de los sedimentos y rocas del fondo marino. Estos incluyen fluidos y minerales solubles, tales como petróleo, gas, azufre y potasa, que pueden extraerse mediante perforaciones; depósitos subsuperficiales consolidados, tales como carbón, mena de hierro y otros minerales que forman vetas, extraídos hasta ahora desde túneles con boca en tierra firme; y depósitos superficiales no consolidados, susceptibles de ser dragados, tales como metales pesados, conchas de ostras, arena y grava y los nódulos de manganeso y de fosforita, originados a partir del agua del mar por precipitación lenta.

Al agotarse los minerales fácilmente accesibles de la tierra, la minería marina es una empresa que puede llegar a ser económicamente rentable y cuya tecnología se desarrolla de modo continuo.

El fondo de los océanos es un entorno muy inhóspito, pero una fuente potencial de minerales. Hasta ahora sólo se explotan, más o menos fácilmente, los minerales que se encuentren en una extensión que se extiende aproximadamente 70 kilómetros desde el litoral.

La extrapolación de los conocimientos geológicos adquiridos en tierra, indican que las rocas sedimentarias y cristalinas que se hallan bajo los fondos oceánicos contienen vastos recursos potenciales de minerales metálicos y no metálicos.

Es posible que las perspectivas de encontrar filones y vetas de minerales metálicos en las profundidades del mar, más allá de la base del talud continental, estén limitadas a unos cuantos minerales determinados, tales como la cromita, el platino, el níquel y el cobalto.

Los yacimientos de superficie de mayor importancia potencial son los precipitados químicos: por ejemplo, los yacimientos de fosforita sedimentada en

la plataforma, el talud y el fondo del océano, y los nódulos de manganeso, localizados principalmente en el fondo abisal.

Los sedimentos de superficie no consolidados del fondo del océano, tales como arcillas rojas y limos calcáreos y silíceos, contienen algunos elementos posiblemente útiles, pero en la actualidad no están considerados como yacimientos económicamente explotables.

Otro tipo de material de superficie es la barita, mineral de sulfato de bario que se presenta en forma de concreciones nodulares desperdigadas en diversas zonas de las plataformas y el talud continentales. Se ha encontrado barita frente a las costas de Ceilán y el sur de California y frente a las islas de Kai en Indonesia.

En la lista de yacimientos submarinos de superficie susceptibles de explotarse, ocupan un lugar de importancia los lodos metalíferos descubiertos recientemente en el mar Rojo en asociación con salmueras de alta salinidad y temperatura anormalmente elevada. Estos lodos contienen concentraciones extraordinarias de metales pesados tales como el hierro, el manganeso, el zinc, el cobre, el plomo, la plata y el oro.

Los que se hallan a profundidades de alta mar presentan extraordinarias dificultades de explotación y sólo los avances tecnológicos hacen vislumbrar la posibilidad de una explotación comercialmente rentable.

Los filones mineros que se descubren en tierra y se prolongan por debajo de la superficie del fondo del mar se vienen explotando por medio de túneles desde hace más de un siglo a lo largo de la costa nordeste de Inglaterra y el carbón se explota también por debajo de las aguas litorales de Nueva Escocia, Japón, Turquía y China. En el litoral del sureste de Finlandia se encuentra óxido de hierro magnético (magnetita) y en el de Terranova se encuentra mineral de hierro.

Es conocido también el procedimiento de obtención de azufre que se encuentra en los fondos de la plataforma continental, a base de aprovechar la propiedad del azufre fundido de no mezclarse con el agua. Introduciendo hasta el fondo del mar, a través de un tubo, por medio de aire comprimido, agua sobrecalentada a 160 grados, el azufre fundido puede subir a través de otro tubo concéntrico, impulsado por la presión neumática, y ser recogido en la superficie del agua.

Este procedimiento se puede utilizar para otros tipos de minerales, a base de inyectar fluidos que disuelven los minerales en lugar de agua sobrecalentada.

Los yacimientos minerales que se encuentran a profundidades demasiado grandes como para ser recuperados por dragas corrientes no se han explotado

todavía comercialmente y es poco probable que pueda hacerse cuando las profundidades sean superiores a los 3 kilómetros por debajo del fondo del mar.

Las mayores posibilidades de explotación las ofrecen los nódulos de manganeso. Estos están muy distribuidos, principalmente en los océanos Pacífico, Atlántico e Índico. Suelen tener una forma esférica irregular y un tamaño variable, desde una uva hasta una bola de 30 centímetros de diámetro. Consisten fundamentalmente en óxidos de manganeso y de hierro, pero su estructura de piel de cebolla puede contener también óxidos de metales valiosos como el níquel, el cobre y el cobalto. Estos nódulos abundan a profundidades entre 3.000 a 6.000 metros en el fondo abisal, y en la parte inferior del talud continental.

La cantidad de nódulos secos de manganeso está cifrada en 175.000 millones de toneladas, cantidad que no representa más que un máximo teórico, pues una gran parte de estos recursos tal vez no pueda extraerse por la topografía o por poca abundancia en la zona explotable. Así pues, las reservas potenciales se cifran en unos 23.000 millones de toneladas secas, cantidad que puede dar lugar a 290 millones de toneladas de níquel, 240 millones de toneladas de cobre, 60 millones de toneladas de cobalto y 6.000 millones de toneladas de manganeso.

Se ha calculado que cada millón de toneladas de nódulos secos recogidos en el Pacífico Norte podrían producir 230.000 toneladas de manganeso, 11.000 toneladas de níquel, 9.000 toneladas de cobre y 2.000 toneladas de cobalto.

Los nódulos se reparten de manera muy desigual. Hay pocos en el Atlántico Sur, mientras que entre las zonas de fractura de Clarion y Clipperton a lo largo de la costa de México en el Pacífico Oriental, abarcan una superficie de miles de kilómetros cuadrados. A su vez, la concentración de nódulos es mayor en los lugares en que existen fuertes corrientes, las cuales impiden que se entierren los nódulos. Se considera que una zona puede ser explotable en condiciones rentables cuando la concentración de nódulos sea superior a los 10 kilogramos/metro cuadrado.

Además de los minerales depositados en el fondo del mar, en el agua del mar se encuentran disueltos probablemente todos los elementos químicos. Entre estos, se pueden citar, principalmente, el magnesio, el azufre, el potasio, el sodio, el boro, el bromo, el estroncio y el uranio, aún cuando sólo se extraen en cantidades importantes el magnesio y el bromo.

En apartados independientes estudiaremos recursos tales como la sal y la propia agua potable, que se extraen económicamente de las aguas del mar en un gran número de instalaciones en funcionamiento frente a las costas de 60 países y cuya explotación fuera de la plataforma continental es poco probable.

La producción de estas instalaciones representa el 45% de la producción total mundial de sal y el 59% de la de agua potable fabricada.

Aunque en el mar abierto la composición del agua se mantiene relativamente uniforme en cuanto a sus elementos principales, no es en modo alguno homogénea en lo que atañe a sus componentes secundarios, y las concentraciones anormalmente altas de metales en determinadas masas locales de agua pueden llegar a tener cierta importancia económica. Se ha determinado que el contenido de oro en el agua del mar oscila desde 0,001 miligramos hasta casi 60 miligramos por tonelada, con un promedio de 0,04 miligramos por tonelada, aproximadamente.

El vivo interés que suscita en la actualidad la producción de agua potable a partir del agua del mar, ha hecho posible la realización de un gran volumen de investigaciones adicionales relacionadas con la extracción de minerales y no sería raro que ulteriormente se elaborasen nuevos procedimientos comerciales, para extraer algunos otros componentes del agua del mar o de las salmueras que son efluentes de las plantas de desalación.

El manganeso representa sólo el 0,13% de los minerales disueltos en el agua del mar. Este no es el caso del magnesio, mineral del que se encuentran cantidades importantes en este medio. La extracción del magnesio a partir del agua del mar, sufrió un fuerte impulso en los Estados Unidos de América durante la Segunda Guerra Mundial, para satisfacer las necesidades de demanda de la industria aeronáutica.

En el fondo del mar Rojo se han descubierto importantes cantidades de óxidos de hierro, zinc y cobre. Se está ensayando un procedimiento para su extracción a base de deshacer el barro mediante agitación mecánica y luego bombear a la superficie una mezcla de barro y agua. Pero, de momento, los costes de elevación del sedimento son demasiado altos.

Grava y arena

De los muchos depósitos superficiales potencialmente valiosos, la arena y la grava son los más importantes en términos económicos. También se explotan las costras de ostras, utilizadas para obtener cal.

La grava y la arena se emplean como materiales de construcción. El 20% de las necesidades de estos materiales en el Reino Unido, Japón y los Países Bajos se satisface con extracciones de los mismos del fondo del mar del Norte.

Sal

La sal se obtiene del agua del mar en muchos países, entre ellos España, Estados Unidos, Rusia, India, Francia, Italia, Israel, etc., por evaporación, mé-

todo que consiste en aprovechar el calor del sol para evaporar el agua del mar llevada hasta unas lagunas artificiales de poco fondo denominadas salinas. El agua marina se introduce en primer lugar en estanques de grandes dimensiones denominados de concentración, cuya superficie puede pasar de 20 hectárea, en las que se separan las impurezas, tales como arcilla y arena, y las sales menos solubles, como el carbonato y sulfato cálcicos. La salmuera ya concentrada pasa luego a los estanques de cristalización, en los que se deposita sal de diferentes clases: la de mayor calidad se obtiene en los depósitos de primera cristalización.

En los años 1964, 1965 y 1966 fueron localizadas tres fuentes submarinas de salmueras de gran densidad en medio del mar Rojo. Contienen elementos con concentraciones diez veces más elevadas que la materia sólida disuelta comúnmente en el agua oceánica y están situadas sobre sedimentos ricos en materiales pesados tales como zinc, cobre, plomo, plata y oro.

Agua dulce

Uno de los recursos potenciales del agua del mar que ha resultado más difícil de extraer a nivel económico es el agua del mar.

Para gran parte del mundo civilizado, la escasez de agua constituye un grave y creciente problema. Además de la necesidad de disminuir el desperdicio de agua recuperando el agua ya utilizada, purificándola, regulando las crecidas y llevando con más cuidado el uso industrial del agua, es necesario aumentar el aporte hídrico en sí mismo, transformando el agua salada en agua dulce.

Se define en general al agua dulce como agua que contiene sales disueltas en cantidad inferior a 1.000 partes por millón. La dulzura del agua depende del uso para el que se destine. El agua para beber debe tener no más de mil partes por millón y, preferiblemente, menos de 500. En general, la salinidad del agua destinada al riego agrícola no debe ser superior a 1.200 partes por millón, dependiendo la concentración permisible del contenido salino específico.

Para algunos usos industriales, como puede ser la refrigeración y el lavado, puede utilizarse agua del mar no depurada; sin embargo, en las calderas de alta presión puede ser necesario utilizar agua casi pura, con un contenido salino no superior a dos o tres partes por millón. Por tanto, la posibilidad económica de la conversión del agua de mar depende del uso a que se destine.

Los principales componentes del agua del mar son los que se indican en el cuadro 1, p. 96.

Cuadro 1.— Principales componentes del agua del mar.

<i>Componentes</i>	<i>Partes por millón de toneladas de agua de mar (aproximadamente)</i>
<i>Sales</i>	
Cloruro sódico (ClNa)	27.213
Cloruro magnésico (Cl ₂ Mg)	3.807
Sulfato magnésico (SO ₄ Mg)	1.658
Sulfato cálcico (SO ₄ Ca)	1.260
Sulfato potásico (SO ₄ K ₂)	863
Carbonato cálcico CO ₃ Ca)	123
Bromuro magnésico (Br ₂ Mg)	76
	<i>TOTAL</i> 35.000
<i>Cationes</i>	
Sodio (Na ⁺)	10.722
Magnesio (Mg ⁺⁺)	1.297
Calcio (Ca ⁺⁺)	417
Potasio (K ⁺)	382
	<i>TOTAL</i> 12.818
<i>Aniones</i>	
Cloro (Cl ⁻)	19.337
Sulfato (SO ₄ ⁻)	2.705
Bicarbonato (CO ₃ ⁻)	97
Carbonato (CO ₃ ⁻)	7
Bromo (Br ⁻)	66
	<i>TOTAL</i> 22.212

Se ha estimado que a finales del año 1993 había en el mundo del orden de 9.000 instalaciones desaladoras con producción superior a 100 metros cúbicos/día. Los países de mayor producción son: Arabia Saudí, Estados Unidos, Emiratos Árabes y Kuwait. Estados Unidos utiliza instalaciones para desalinizar preferentemente aguas salobres (salinidad entre 1.000 y 15.000 ppm), mientras que los países árabes utilizan instalaciones para desalinizar el agua del mar (salinidad alrededor de 30.000 ppm).

La producción de agua dulce a partir del agua del mar se lleva a cabo por uno de los procesos siguientes:

- Destilación: basado en la evaporación y la condensación posterior del vapor de agua. Dentro de la destilación se distinguen los procesos Multiefecto (MED) y Multietapa (MSF), ambos utilizables para grandes evaporadores (superiores a 5.000 metros cúbicos/día por unidad), y el de Compresión de Vapor (CV) (inferiores a 5.000 metros cúbicos/día por unidad).

- El procedimiento MSF se puso en funcionamiento en el año 1958 y las primeras plantas que se instalaron en el mundo, siguieron lógicamente este proceso. Corresponde a una época de bajos costes de energía, lo que dio origen a instalaciones de bajo coste y de gran consumo energético.
- Tras la crisis del petróleo (principio de los años setenta), se investigan procedimientos que permitan un ahorro energético. Se construyen entonces evaporadores de mayor rendimiento aumentando considerablemente la superficie de transferencia de calor, lo que implica un aumento de los costes de la instalación. Así surge el método MED.
- El procedimiento de (CV) es similar al MED, pero utiliza un compresor mecánico para aportar energía al proceso, siendo empleado fundamentalmente en instalaciones de pequeña producción.
- Osmosis Inversa (OI): este procedimiento se adapta a cualquier tamaño de instalación, pero debe modularse en unidades no superiores a 10.000 metros cúbicos/día.

Cuando a una solución acuosa se le aplica una presión mayor que la presión osmótica, las moléculas de agua pueden pasar a través de una membrana semipermeable, de tal modo que la solución se concentra y se obtiene agua pura al otro lado de la membrana.

La presión osmótica depende de la concentración de la solución. En el caso del agua del mar, las presiones de trabajo son del orden de 70 kilogramos/cm².

Las membranas utilizadas pueden ser de poliamidas aromáticas o de poli-acetatos de celulosa, siendo la más conocida la de acetato de celulosa.

Las primeras membranas aptas para el agua del mar empiezan a fabricarse en el año 1964, aunque la primera instalación importante data del año 1977.

Recursos energéticos

Petróleo y gas

El petróleo y el gas dominan la historia de la exploración lucrativa de minerales en la plataforma continental frente a las costas de muchos países, y la lista de éxitos ha aumentado con rapidez al hacerse nuevos descubrimientos de esta clase todos los años. En los últimos tiempos se han descubierto yacimientos con grandes posibilidades en la plataforma frente a las costas de la Arabia Saudí, Australia, Brasil, Brunei, Cabinda, Chile, Estados Unidos de América, Gabón, Irán, Italia, Japón, Libia, México, Nigeria, Perú, Reino Unido, República Árabe Unida, Trinidad y Tobago, Repúblicas de la ex Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas, Venezuela y otros países. Aunque el desarrollo de estas fuentes todavía está en su etapa inicial, se explota ahora en 22 países el 17% de la

producción mundial de petróleo, y el 6% de la producción mundial de gas natural se obtiene de pozos situados frente a las costas, principalmente en las de Venezuela, golfo Pérsico y el golfo de México.

Energía de las olas marinas

La energía de las olas procede del Sol, el cual, al calentar la superficie terrestre de modo desigual, provoca la formación de vientos, los cuales, a su vez, azotan el mar y crean el oleaje. Las olas se forman gradualmente en extensas zonas del océano y cabe considerarlas como una concentración de energía tanto solar como eólica.

La energía de una ola depende de su longitud y de su altura, parámetros que varían considerablemente en las distintas partes del mundo. La energía de las olas, aún las pequeñas, es considerable; así, por ejemplo, una ola de tres metros de altura puede transmitir energía a razón de 100 kilovatio por metro de longitud lineal.

Dos de los mejores emplazamientos para aprovechar la energía de las olas son la costa escocesa y el mar del Japón, donde la altura de las olas puede superar 25 metros. En el Reino Unido esto representa un recurso potencial de aproximadamente 50.000 megawatios, explotables a lo largo de 1.000 kilómetros, desde las Hébridas hasta Cornualles.

En aguas del litoral japonés funciona desde el año 1978 una central experimental de energía de 2 megawatio, la Kaimei, que alimenta la red nacional de electricidad. Ésta es, hasta ahora, la más impresionante manifestación práctica de que la fuerza de las olas produce energía.

La mayor parte de la investigación sobre energía de las olas se ha concentrado en el abastecimiento de electricidad a una red nacional, aunque podría ser de utilidad como abastecedora de energía local a instalaciones muy distantes del continente y, por ello, difíciles de conectar a la red nacional, como pueden ser plantas fabriles flotantes de la industria química o centrales desalinizadoras de agua de mar.

Una central de energía hidrodinámica se compone de una serie de convertidores que aceptan el movimiento cíclico e irregular de las olas y lo transforman en movimiento suave, ininterrumpido y unidireccional, apropiado para un generador que produzca electricidad. La energía eléctrica producida por un gran número de estos convertidores se combina y se manda a la playa, donde una subcentral la incorpora a la red nacional.

Se han inventado muchos diseños diferentes de convertidores desde que sobrevino la crisis petrolífera de principios de la década de los años 1970, cuando se inició seriamente la investigación, de modo especial en el Reino Unido.

Los costes de la energía obtenida a partir de las olas del mar se sitúan por el momento en aproximadamente 1,5 veces el de la electricidad derivada del carbón o la obtenida por las centrales nucleares. Uno de los países mejor situados para extraer energía de las olas del mar es el Reino Unido, pero posiblemente sea Japón, país con pocas reservas de combustible fósil y una fuerte desconfianza hacia la energía nuclear, el país que encuentre en la energía obtenida de las olas del mar una alternativa atractiva al carbón y el petróleo importados.

La recuperación de la energía de las olas ha dado lugar a centenares de patentes. Actualmente, pequeñas balizas aisladas en el mar están equipadas con dispositivos de pequeña potencia que funcionan con la energía de la ola para asegurar emisiones sonoras con sonido de campana o de sirena.

Energía de las mareas

Las mareas son movimientos periódicos y alternativos de ascenso y descenso de las aguas del mar, producido por las acciones del Sol y de la Luna.

La energía de las mareas es el potencial de trabajo creado en el mar, sobre todo en las zonas costeras, por las diferencias periódicas de nivel debidas al fenómeno de la marea.

Las mareas son una fuente energética que se regenera continuamente, mediante las energías potencial y cinética del sistema Tierra-Sol-Luna. La elevación y caída del nivel del mar que se produce diariamente dos veces, causa un flujo de agua oscilatorio que puede llenar y vaciar una ensenada que almacena agua durante la pleamar, creando desniveles hidráulicos que se aprovechan mediante turbinas a causa de la pequeña altura disponible.

La utilización de la energía de las mareas es muy antigua, como lo testimonian los molinos costeros que se utilizaban en la producción de la harina.

La energía de las mareas, llamada hulla azul, se está empezando a aprovechar actualmente para la producción de electricidad por centrales de gran potencia, siendo Francia el país que más progresos ha realizado en este campo. De hecho, en el estuario del río Rance, en Bretaña (canal de la Mancha) se ha construido una central mareomotriz que constituye, por ahora, la primera realización de este género en el mundo. El principio consiste en admitir la marea entrante en una ensenada aislada del mar por un dique, a través de compuertas que actúan de válvulas abiertas hacia el interior de la ensenada por la fuerza de la marea entrante y que se cierran automáticamente en cuanto la marea comienza a descender. El nivel de la ensenada permanece así a la misma altura que la pleamar, y la central puede ponerse en marcha cuando la diferencia de nivel de

la ensenada y de la marea vaciante ha creado un desnivel de caída suficiente como para hacer girar las paletas de una turbina, continuando así hasta la próxima marea que vuelve a neutralizar el salto.

La central mareomotriz de Rance tiene una estructura de 750 metros de longitud, embalsa 184 millones de metros cúbicos con amplitudes de marea que llegan hasta 13,5 metros, utiliza 10 turbogeneradores que actúan en ambos sentidos de la corriente y dan unos 240 megawatios.

En cualquier caso, hay que advertir que los lugares de aprovechamiento de esta energía son raros, la inversión necesaria es muy importante y la periodicidad de la producción impuesta por el ciclo de la marea se adapta mal a los ritmos cotidianos de demanda de electricidad.

Energía de las corrientes

Hay tres grupos de corrientes. Las producidas por convección debido al enfriamiento de las aguas superficiales en latitudes nórdicas; las corrientes producidas y mantenidas por la transferencia a la superficie del mar de la energía de vientos constantes; y las corrientes producidas en ciertas regiones por el exceso de la precipitación sobre la evaporación o viceversa.

La energía de una corriente marina puede utilizarse del mismo modo que la del viento. No obstante, se trata de una tecnología poco desarrollada. La energía cinética de las corrientes es enorme, la del Golfo, en la zona de California, mueve 30 millones de metros cúbicos/segundo a velocidades de aproximadamente 5 kilómetros/hora. En el estrecho de Gibraltar se producen corrientes, de pequeño caudal, debidas a la alta evaporación que tiene lugar. En California está en marcha un proyecto para instalar 250 turbinas de 75 megawatios.

Gradiente térmico

La diferencia de temperatura entre la capa superior del agua del mar y otra más profunda y más fría, se puede utilizar como fuente de energía. El agua de la superficie constituye un foco caliente con el que se vaporiza, en un evaporador de superficie, una sustancia de bajo punto de vaporización (amoníaco, etileno y propano). El agua de la capa profunda constituye un foco frío que se utiliza como refrigerante para condensar el vapor producido después de mover una turbina.

La mínima diferencia de temperatura necesaria, 18 grados centígrados, sin ir a profundidades excesivas, limita el ámbito de aplicación a zonas tropicales. Aún así, el rendimiento es bajo.

Aún cuando existen todavía muchos problemas de tipo técnico por resolver, existen actualmente proyectos japoneses, europeos y americanos, orientados a la explotación de esta fuente de energía.

En algunos lugares donde la diferencia de temperatura es favorable para la generación de energía eléctrica, la distancia es demasiado grande, e impide que sea rentable el transporte de la energía hasta la playa. En estos casos, se podrían instalar plataformas en las que, utilizando materia prima llevada desde tierra se podría generar en la plataforma la potencia necesaria para producir, por ejemplo, aluminio, metanol y amoníaco.

Gradiente salino

Se puede obtener energía a partir del gradiente salino que se produce en la desembocadura de los ríos. En estas zonas, si dos zonas de distinta concentración se separan por una membrana semipermeable, a través de la cual pasan moléculas de disolvente pero no de soluto, irá subiendo el nivel de la solución más concentrada hasta que se igualen las concentraciones; a este equilibrio corresponde una altura y una presión equivalente que se llama presión osmótica.

Colocando una membrana semipermeable en la boca de un estuario, que lo separa de agua del mar con salinidad de 3,5%, la presión osmótica será de 24 atmósferas, lo que supone una altura de agua de 238 metros utilizable por un sistema turbogenerador.

Biomasa

Aproximadamente un 2% de la energía que llega del Sol a los océanos se utiliza en procesos de fotosíntesis, lo que equivale a que aproximadamente 2,5 % megawatios/horas/año se destinen a la producción de materia orgánica en los océanos mediante la fotosíntesis del fitoplancton (plantas flotantes microscópicas) y el fitobentos (plantas microscópicas del fondo). La posterior bio-digestión de este material orgánico da lugar a la producción sintética de productos energéticos, como el metano o el metanol.

La bioconversión de productos fotosintéticos de origen marino en metano, se presenta como un procedimiento prometedor de producción de energía limpia.

Así, en Israel se está estudiando la obtención de glicerol a partir de un tipo de alga verde unicelular (*Dunaliella*) que prolifera mucho en los océanos. También el alga *Botryococcus braunii* produce directamente importantes cantidades de hidrocarburos.

La microalga *Spirulina* puede cultivarse en ambientes muy salinos para obtener biomasa para fermentación y transformación en metanol con rendimientos de hasta el 70%.

En USA se está desarrollando el procedimiento de obtención de metano a partir de la digestión anaeróbica del alga *Macrocystis pyrifera*, a razón de 400 metros cúbicos de metano por cada tonelada de materia orgánica digestible.

Recursos geológicos del litoral español

Minerales

De acuerdo con los informes técnicos del Instituto Español de Oceanografía, relativos respectivamente al litoral cantábrico y gallego y al golfo de Vera (Almería), se deduce lo siguiente:

- En el año 1985, en 47 estaciones repartidas a lo largo de todo el litoral entre la ría de Bilbao en Vizcaya y la desembocadura del río Miño, se tomaron muestras, tanto del agua del mar, como de sedimentos superficiales. En cada muestra de sedimentos se analizó el contenido de zinc, plomo, mercurio, manganeso y cromo en una fracción de 63 microgramos, y en las muestras de agua del mar se analizó el contenido en cadmio, plomo y zinc. La profundidad de la sonda utilizada para la extracción de los sedimentos varió entre 15 y 215 metros y las muestras de agua de mar fueron tomadas a 1 metro de profundidad. La salinidad de las aguas fue de aproximadamente un 35% y la temperatura del agua de aproximadamente 13 grados centígrados. Los valores máximos de las concentraciones se localizaron en las estaciones más cercanas a la costa y, por tanto, más influidas por los vertidos industriales y urbanos.
- Las concentraciones de zinc en el agua del mar variaron entre 2,5 microgramos/litros (obtenida mar adentro a la altura de Ribadeo) y 230 microgramos/litro (obtenida en la ría de Suances), destacando también el valor de 98,2 microgramos/litro obtenido en la ría de Bilbao. El 68% de las muestras dieron un contenido comprendido entre 2 y 8 microgramos/litro.
- En el año 1985 se realizó una campaña oceanográfica entre el cabo de Palos y el cabo de Gata para la recogida de 25 muestras de sedimentos superficiales tomadas a profundidades entre 28 y 739 metros y 7 muestras de columnas sedimentarias o núcleos de hasta 40 centímetros de longitud obtenidas a profundidades entre 58 y 1.000 metros. El objeto fue la determinación del contenido en mercurio, plomo, manganeso, hierro y cromo.
- Las mayores concentraciones de manganeso, plomo, mercurio y hierro fueron encontradas frente a las bahías de Portman y Cartagena, así como frente a la costa de Mazarrón.

Los niveles naturales de metales pesados estimados fueron los siguientes:

- Manganeso: 200 microgramos/gramos; hierro: 15 microgramos/gramos; plomo: 30 microgramos/gramos; cromo: 12 microgramos/gramos y mercurio: 0,10 microgramos/gramos.

Salinas

Se van a relacionar a continuación las salinas que actualmente se están explotando en el litoral español para la producción de sal. Los datos que se indican son obtenidos del *Primer avance sobre el Plan Estratégico Nacional de acuicultura* publicado en el año 1981 por el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (Subsecretaría de Pesca Marítima, Dirección General de Ordenación Pesquera),

significándose que las superficies que se indican no están en su totalidad dedicadas a la producción de sal. Asimismo, solamente se hacen mención a las salinas del litoral mediterráneo y suratlántico, que son las que tienen más entidad, cuadro 2.

Las salinas más importantes del litoral español son las de Torrevieja, con una superficie media de 3.000 hectáreas. La sal, de gran pureza (99,15% de cloruro sódico) se explota intensivamente de forma muy mecanizada. La producción

Cuadro 2.— Salinas explotadas en el litoral español.

Zonas	Hectáreas
<i>Canarias</i>	
Janubio	15
Del Río	40
<i>TOTAL</i>	55
<i>Balear</i>	
Fomentera	34
Ibiza	360
D'es Salobrar	5
Levante	150
S'Estanc	12
<i>TOTAL</i>	561
<i>Peninsular mediterránea</i>	
Santa Pola	80
La Mata	400
Torrevieja	3.000
San Pedro del Pinatar	200
Playa Honda	24
Cala Blanca	5
Cabo de Gata	180
Roquetas	100
Cerrillos	250
<i>TOTAL</i>	4.159
<i>Suratlántico</i>	
Puerto Real	1.225
San Fernando	775
Chiclana	1.328
Sanlúcar de Barrameda	1.132
Puerto de Santa María	402
Barbate	34
Cádiz	224
Ayamonte	656
Isla Cristina	232
Lepe	10
Punta Umbría	1.280
Huelva	30
Almonte	134
<i>TOTAL</i>	7.462

asciende a más de 500.000 toneladas anuales, pero desde que se incorporó a la explotación las salinas de la Mata la producción se aproxima a 1.000.000 de toneladas. Son las salinas más importantes de Europa.

Desalinizadoras

Las instalaciones desaladoras existentes en España son las expresadas en los cuadros 3 y 4, p. 105.

Cuadro 3. — *Instalaciones públicas.*

<i>Nombres</i>	<i>Años</i>	<i>Capacidad (metros cúbicos/día)</i>	<i>Sistema</i>
Ceuta (a)	1969	4.000	MSF
Las Palmas I	1970	20.000	MSF
Fuerteventura I (a)	1971	2.000	MSF
Lanzarote I	1976	5.000	MSF
Fuerteventura II	1978	2.000	CV
Consorcio FTV I	1979	2.000	CV
Las Palmas II	1980	18.000	MSF
Lanzarote CV	1983	500	CV
Lanzarote OI	1983	500	OI
Puerto de la Cruz	1986	1.000	CV
Consorcio FTV II	1987	1.500	CV
Lanzarote II	1987	7.500	OI
Galdar	1988	3.000	OI
Las Palmas III	1989	36.000	OI
Inalsa I	1990	5.000	OI
Inalsa-Yaiza	1990	3.600	CV
Lanzarote III	1991	15.000	OI
Fuerteventura III	1991	4.000	OI
Denia	1991	20.000	CV
Guía	1993	1.500	OI
Sureste	1993	10.000	OI
Gran Tarajal	1993	1.500	OI
Corraleja	1993	1.500	OI
Cabo de Gata	1993	1.000	
Arucas	En construcción	4.000	OI
Ampliación Lanzarote III	En construcción	5.000	OI
Formentera	En construcción	1.500	OI
Adeje-Arona	En construcción	10.000	OI
Ampliación Galdar	En construcción	3.000	No determinado
Las Palmas-Telde	En proyecto	35.000	No determinado
San Cruz de Tenerife	En proyecto	20.000	No determinado
Santa Cruz de Tenerife	En proyecto	15.000	
Ibiza (auto)	1994	7.500	OI
Calvia	En proyecto	40.000	No determinado

a) Fuera de servicio.

Fuente: Informe sobre «Los procesos de desalación y los costes del agua salada». Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX), febrero 1995.

Cuadro 4. — Instalaciones privadas.

<i>Nombres</i>	<i>Años</i>	<i>Capacidad (metros cúbicos/día)</i>	<i>Sistema</i>
Termolanza (a)	1965	2.000	MSF
Río Tinto I	1977	2.500	SF
Caborneras I	1980	500	OI
Carboneras II	1981	2.200	
Elmasa I	1986	10.000	MSF
Río Tinto II	1987	3.500	ED
Puerto Rico	1987	3.400	CV
Unelco	1990	1.000	CV
Elmasa OI	1990	7.500	OI
Barranco. Tirajana (riego)	1990	4.000	OI
Aragua (riego)	1988-1991	10.000	OI
Otras plantas	1991	5.500	Varios

a) Fuera de servicio.

Fuente: Informe sobre «Los procesos de desalación y los costes del agua salada». Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX), febrero 1995.

En el año 1965 se instala la primera planta desaladora significativa en Lanzarote por la empresa Termolanza. Tenía una producción de agua de 2.000 metros cúbicos/día.

En el sector público, la primera iniciativa corresponde al Ministerio de Obras Públicas Transportes Urbanismo y Medio Ambiente (MOPTMA) con la instalación de una desaladora en Ceuta en el año 1969. Ambas instalaciones se encuentran actualmente fuera de servicio.

En la actualidad, la producción en España de agua desalada alcanzará en breve plazo la cifra de aproximadamente 350.000 metros cúbicos/día, de los cuales aproximadamente 300.000 metros cúbicos/día serán producidos por instalaciones públicas (de los cuales 135.000 metros cúbicos/día en construcción o en proyecto) y aproximadamente 50.000 metros cúbicos/día serán producidos por instalaciones privadas.

Los precios del metro cúbico de agua potable producida a partir del agua del mar en España, calculado a partir de las inversiones realizadas por el MOPTMA en los últimos años teniendo en cuenta los costes totales de energía, mano de obra, productos químicos, reposición de membranas, limpieza química, mantenimiento y amortización, oscila entre 181,7-191,4 pesetas para el método de MSF, 142,5-151 para el de MED, 178,7-200,4 para el CV y 133,2-164,4 para el de ósmosis inversa.

La sequía que venía sufriendo España durante los últimos años, una de las más pronunciadas desde hace más de un siglo, ha llevado a la Administración a

promover un ambicioso plan de implantación de potabilizadoras a lo largo del litoral andaluz y del de Alicante y Murcia.

Está previsto que la primera planta sea instalada en Ceuta, donde actualmente se bebe agua importada de la Península.

El segundo grupo de potabilizadoras comprende las plantas de Sevilla y Cádiz, las cuales serán provisionales y móviles. En un plazo de cinco años está previsto que Sevilla se abastezca de agua a través de la presa de Melonares, y la bahía de Cádiz, del trasvase Guadiaro-Majaceite, en fase de construcción.

Las que se instalen en Cartagena y Alicante se harían por el sistema de conceder la explotación durante 15 años a las empresas constructoras. El MOPTMA compraría el agua y la engancharía a la red de los canales de Taibilla, entidad que abastece a los 2 millones de habitantes de Murcia y del sur de la Comunidad Valenciana.

El tercer grupo comprende la Costa del Sol y las ciudades de Almería y Málaga. El MOPTMA delegará en sus ayuntamientos o mancomunidades los concursos de concesión, pero tendrán que amortizar su coste mediante su repercusión en los usuarios y con ayudas comunitarias.

Recursos energéticos del litoral español

Hidrocarburos

En España se viene haciendo un importante esfuerzo en la investigación sobre las posibilidades de localización de existencias de petróleo en los fondos de nuestras aguas territoriales.

Según datos obtenidos de la publicación *Estadística de prospección y producción de hidrocarburos* editada por el Ministerio de Industria y Energía, correspondiente al año 1994, desde el año 1959 se han realizado 244 sondeos marinos, con una inversión acumulada de 1,2 billones de pesetas (en pesetas del año 1994), los cuales han dado como resultado la explotación de los siguientes pozos:

PETRÓLEO

- Amposta (Tarragona), en explotación entre los años 1973 y 1988 (a.i.), con una producción total de 8,4 millones de toneladas de crudos.
- Casablanca (Tarragona), en explotación entre los años 1977 y 1986 (a.i.), con una producción total de 9,3 millones de toneladas de crudos.
- Tarraco (Tarragona), en explotación entre los años 1977 y 1986 (a.i.), con una producción total de 2 millones de toneladas de crudos.

- Dorada (Tarragona), en explotación entre los años 1978 y 1985 (a.i.), con una producción total de 2,4 millones de toneladas de crudos.
- Salmonete (Tarragona), en explotación entre los años 1984 y 1986 (a.i.), con una producción total de 196.000 toneladas de crudos.
- Ánguila (Tarragona), solamente en explotación en el año 1985, en el que se extrajeron 6.000 toneladas de crudos.
- Unitización Casablanca-Montanazo D (Tarragona), en explotación desde el año 1987, con una producción acumulada de 8 millones de toneladas de crudos.
- Gaviota I y II (Vizcaya), en explotación desde el año 1986 con una producción acumulada de 535.000 toneladas de crudos.

GAS

- Gaviota I y II (Vizcaya), con una producción acumulada desde el año 1985 de 7.300 millones de newton/metro cúbico de gas. Este yacimiento se utiliza hoy día como almacén submarino de gas, con una capacidad de 2.500 millones de metros cúbicos que irán siendo inyectados hasta el año 2002 procedentes de la red nacional de gaseoductos y del cercano yacimiento de Albatros.
- Albatros (Vizcaya), con concesión de explotación desde 1993. Como se puede observar, actualmente sólo se están explotando dos sondeos en petróleo (Unitización Casablanca-Montanazo D, y Gaviota I y II), y dos en gas (Gaviota I y II, y Albatros) y, además, la producción de estos va disminuyendo rápidamente.

En efecto, de 1,5 millones de toneladas de crudos extraídas en el sondeo de Casablanca-Montanazo D en 1987, se pasó a 0,8 millones de toneladas de crudos en 1994, y de 17.000 toneladas de crudos extraídos en el sondeo de Gaviota I y II en 1986, se pasó a 5.000 toneladas de crudos en 1994.

La producción de gas alcanzó un máximo de 1.500 millones de newton/metro cúbico de gas en 1989 y en el año 1994 fue de 120 millones de newton/metro cúbico de gas.

Estas producciones cubren solamente una mínima parte de las necesidades anuales de hidrocarburos en España, máxime cuando los pozos se van agotando y las necesidades de productos energéticos van en constante aumento. Así, por ejemplo, mientras que la producción de petróleo a partir del subsuelo marítimo español pasó, de 2 millones de toneladas de crudos en 1985, a 767.000 toneladas en el año 1990, el consumo en España pasó de 24 millones de toneladas en 1985 a 29,2 millones de toneladas en el año 1990.

No obstante, los esfuerzos continúan. Según la citada publicación, actualmente están vigentes los siguientes permisos de investigación para sondeos marinos:

- Vigo A y Vigo B (136.000 hectáreas, litoral de Vigo), concedidas a las empresas Taurus y Oilexpló.

- Arosa 1 y Arosa 2, Muros 1, Muros 2 y Muros 3 (120.000 hectáreas, litoral de Pontevedra), concedidas a las empresas Taurus y Oilexpló.
- Calamar y Sama (61.000 hectáreas, litoral de Tarragona-Castellón), concedidas a la empresa Marinex.
- Golondrina (19.000 hectáreas, litoral de Tarragona), concedida a las empresas CNWL, Mark, Wascana.
- Valenciana A y Valenciana B (152.000 hectáreas, litoral de Valencia) concedidas a la empresa Marinex.
- Castellón C y Rape (51.000 hectáreas, litoral de Castellón), concedidas a las empresas Repsol y Wintershall.
- Anguila (11.000 hectáreas, litoral de Tarragona), concedida a las empresas Repsol y CNWL.
- Illa Cies 1 e Illa Cies 2 (111.000 hectáreas, litoral de Vigo), empresa Hope.

A pesar de los resultados poco optimistas que se vienen obteniendo, hay que indicar, no obstante, que el petróleo obtenido del subsuelo marino español representa la casi totalidad de la extracción nacional de petróleo, ya que a las cifras de producción antes indicadas solamente hay que añadir la producción del yacimiento terrestre de la Lora (Burgos) el cual se viene explotando desde el año 1966, alcanzando un máximo de 193.000 toneladas de crudos en 1969 y siendo en el año 1994 de solamente 16.000 toneladas de crudos.

A las cifras de producción de gas antes indicadas habría que añadir las de la producción del sondeo terrestre de Marismas (Sevilla-Huelva) que está en explotación desde el año 1990, alcanzando un máximo de 145 millones de newton/metro cúbico en el año 1992 para pasar a 75 millones de newton/metro cúbico en el año 1994.

Energía de las olas y mareas

En un estudio realizado por el ingeniero de caminos español don César Vidal Pascual, se ha analizado la energía del oleaje en las costas españolas a partir de datos instrumentales y de datos de observaciones visuales.

Las potencias medias obtenidas por kilovatios/metro son:

- Costa Cantábrico Oriental: 11,01.
- Costa Cantábrico Occidental: 16,76.
- Costa noroeste gallega: 26,71.
- Costa oeste gallega: 23,31.
- Costa oeste San Vicente: 11,01.
- Costa Cádiz: 5,70.
- Costa del Sol: 2,37.
- Costa levante sur: 1,84.

Así pues, las costas españolas más adecuadas, por su potencial, para el aprovechamiento de la energía del oleaje son las atlánticas del Cantábrico y Galicia.

La potencia media anual en estas costas oscila entre los 15 y 25 kilovatios/metro. En altamar, los valores oscilan entre 25 y 40 kilovatios/metro.

El aprovechamiento de la energía de las olas y las mareas no se ha extendido, fundamentalmente por problemas constructivos y de corrosión. En España, solamente Unión Eléctrica Fenosa, S. A. dispone de una pequeña central montada con carácter experimental en las instalaciones anejas a la central térmica de Sabón (La Coruña), de acuerdo con un proyecto iniciado a mediados del año 1990 y que actualmente está en fase de desmontaje.

Según informe facilitado gentilmente por don Andrés Matas Martínez de Unión Fenosa, la idea básica de esta central es utilizar una columna de agua oscilante con un flotador, que es el elemento captador de la energía y que sigue necesariamente su movimiento de subida y bajada. El movimiento de subida y bajada del flotador es transformado, por medio de engranajes de distintos tipos conectados de la manera adecuada, en movimiento circular de un solo sentido, a través de una cadena de acero unida al flotador y cuyo reenvío se hace a través de una polea o engranaje situado en el fondo del pozo. La velocidad de giro obtenida es transformada en la más adecuada para el transformador, o dispositivo a introducir, por medio de una caja multiplicadora de velocidad. Unido al mecanismo que ha de moverse se une rígidamente un volante de inercia que tiene por misión evitar que el elemento acoplado al eje motor se pare en los momentos en que el agua está quieta, por estar en su punto más alto o más bajo. Con este dispositivo se obtiene, para un flotador de 12 metros cúbicos y 6.000 kilogramos de peso que se mueve en una columna oscilante dentro de un pozo de 5 metros de diámetro, una potencia de 30 kilovatios.

En Plencia (Vizcaya) existen en funcionamiento algunos molinos de marea que tienen una potencia de solamente 50 CV, no dándose las condiciones locales óptimas de amplitud de marea aprovechable que se requieren para un rendimiento industrial de la central a gran escala. Se están estudiando las posibilidades de utilización de ensenadas situadas en la bahía de Vigo.

Conclusiones

El mar contiene en el seno de sus aguas miles de millones de toneladas de aproximadamente 77 elementos químicos. En la actualidad, los tres principales minerales que se extraen de manera rentable del mar son la sal, único que se obtiene en grandes cantidades, el magnesio y el bromo.

En el futuro previsible, los minerales de aguas profundas de explotación más probable serán los nódulos de manganeso. Hay yacimientos de posible interés comercial en el océano Pacífico y en el océano Índico, pero todavía no se ha localizado ninguno en el océano Atlántico Norte y muy pocos en el océano Atlántico Sur, los cuales, además, presentan una riqueza en níquel y cobre por debajo de los límites comercialmente rentables. Así pues, el litoral español parece que estará exento de esta fuente de riqueza.

En España, sólo se extrae del mar la sal, así como arenas y gravas utilizadas como materiales de construcción. Con respecto a la sal, se están explotando actualmente en España 29 salinas (5 en las costas de Baleares, 9 en las mediterráneas de la Península, 13 en las del Atlántico Sur y 2 en las de Canarias). Las salinas de Torrevejea, junto con las de la Mata, constituyen el complejo salino más importante de Europa con una producción anual de aproximadamente un 1.000.000 de toneladas.

Entre las instalaciones desalinizadoras existentes y la que actualmente están en fabricación, la producción en España de agua dulce obtenida a partir del agua del mar ascenderá a 350.000 metros cúbicos/día, de los cuales 250.000 serán producidos en instalaciones públicas y 50.000 en instalaciones privadas.

Actualmente se está extrayendo petróleo del subsuelo marino español en dos pozos, Unitización Casablanca-Montanazo D y Gaviota I y II, de los que en el año 1994 se extrajeron 805.000 toneladas de crudos. Asimismo, se está obteniendo gas de los pozos Gaviota I y II, con una producción de 120 millones de newtometro cúbico en 1994. Estas producciones cubren solamente una mínima parte de las necesidades anuales de hidrocarburos en España. No obstante continúan las actividades de investigación de nuevos sondeos marinos.

El litoral español no presenta condiciones adecuadas para la explotación de las corrientes, ni de los gradientes térmico y salino del agua del mar para la obtención de energía.

Igualmente, tampoco se cuenta con condiciones idóneas para la explotación de la energía de las olas y las mareas. La utilización con fines energéticos de biomasa procedente del mar es asimismo insignificante.

Bibliografía

- «Estadística de prospección y producción de hidrocarburos». Ministerio de Industria y Energía, Madrid 1994.
- «Los procesos de desalación y los costes del agua salada», Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX), Madrid, febrero 1995.
- MATAS MARTÍNEZ A. *Energía de las olas*. Unión Eléctrica Fenosa, julio 1994.

«Metales pesados en sedimentos marinos del golfo de Vera (Almería)». Informe técnico número 83. Instituto Español de Oceanografía.

- «Metales pesados en aguas y sedimentos superficiales en las costas cantábrica y gallega». Informe técnico número 84, Instituto Español de Oceanografía, Madrid 1990.

«Oceanografía». *Selecciones de Scientific American*. H. Blume Ediciones.

«Primer avance sobre el Plan Estratégico Nacional de acuicultura». Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación. Madrid 1981.

ROBERT MOORE, J. *Crane*, Russak & Company, Inc. Nueva York.

VIDAL PASCUAL, C. *Revista de Obras Públicas*, pp. 95 a 108, febrero 1986.