

# Energía mareomotriz: perspectiva histórica y estado actual

Juan Aurelio Montero Sousa y José Luis Calvo Rolle

*Tidal energy: historical perspective and current status*

## RESUMEN

Este trabajo trata de dar una visión histórica sobre una de las energías alternativas a las que utilizan los combustibles fósiles y la nuclear, la mareomotriz. Y, dentro de esa perspectiva histórica, se hará especial referencia a los molinos de mareas, sin olvidar las centrales mareomotrices en funcionamiento y sus futuras posibilidades.

Recibido: 7 de septiembre de 2011

Aceptado: 24 de julio de 2012

## ABSTRACT

*This paper wants to give a historical overview of an alternative energy compared to those using fossil fuels and nuclear power, tidal power. Besides, within this historical perspective it will be done particular reference to tide mills without forgetting tidal power plants in operation today and its future possibilities.*

Received: September 7, 2011

Accepted: July 24, 2012

## Palabras clave

Energía mareomotriz, energía hidráulica, historia, molinos de mareas, centrales mareomotrices

## Keywords

*Tidal energy, hydropower, history, tide mills, tidal power stations*



Palas de la rueda del antiguo molino de mareas en la isla de Bréhat (Francia). Foto: Shutterstock

Durante grandes etapas de la prehistoria y la historia, el hombre no contó con otras fuentes de energías que las derivadas de su propia fuerza física, las de la utilización de animales de tiro y las que utilizaban la fuerza del viento y del agua, fundamentalmente a través de molinos hidráulicos y eólicos. Habrá que esperar hasta bien avanzado siglo XVIII, con el surgimiento de la Primera Revolución Industrial, para conocer otra fuente de energía, el carbón, que se utilizaba en las máquinas de vapor y que permitía al ser humano producir esa energía independientemente de las condiciones naturales del entorno, del agua y del viento. Tras la Segunda Revolución Industrial y la generalización de la utilización de la electricidad, una vez que la tecnología eléctrica adquirió cierto desarrollo, la independencia entre el lugar de producción y de utilización de la energía se hizo mucho mayor; tampoco se puede olvidar en esta etapa la importancia del petróleo como fuente de energía.

La reciente preocupación por los efectos que la acción del hombre produce sobre el medio ambiente y la probabilidad de que se agoten los combustibles fósiles han hecho que se estudien alternativas que garanticen el desarrollo sostenible y han facilitado que se vuelva de nuevo la atención hacia las antiguas

fuentes naturales de energía, el agua y el viento, así como otras fuentes de energía como la solar y la geotérmica.

Surgen así iniciativas innovadoras que se centran en desarrollo de las energías alternativas y renovables y hacen que se hable de desarrollar una economía sostenible, que no ponga en peligro la supervivencia de la raza humana. Se habla de energía renovable para referirse a la energía que aprovecha fuentes naturales que son inagotables. Se define energía alternativa como aquella que puede sustituir a las fuentes de energía actuales.

### El mar como fuente de energía

Los mares y los océanos constituyen un monumental depósito de energía cuyo aprovechamiento se puede realizar de diferentes maneras.

En la superficie se puede aprovechar la energía del movimiento de las olas, o energía undimotriz, aunque tiene el inconveniente de la irregularidad con la que se produce dicho movimiento.

Por otra parte, podemos estudiar la energía mareotérmica obtenida por la diferencia de temperatura entre la superficie del mar, el foco caliente, y las aguas de las profundidades marinas, el foco frío.

Incluso, se trata de aprovechar la energía osmótica derivada de la diferente

concentración de sal entre el agua de mar y la de los ríos, extraída mediante procesos de ósmosis.

Otro posible aprovechamiento de la energía acumulada por el agua de los mares y de los océanos consiste en utilizar la fuerza de las corrientes marinas.

Finalmente, el objeto de este artículo es la energía mareomotriz, que utiliza el ascenso y el descenso del agua del mar, las mareas, para producir energía. Fundamentalmente, una central mareomotriz almacena agua en un embalse durante la pleamar, para que, más tarde, al abrir las compuertas de ese embalse, durante la bajamar, se pueda utilizar la fuerza del agua, al desalojar el embalse, para mover las ruedas de un molino y realizar, así, la molienda, o, más recientemente, para hacer girar las palas de una turbina y generar de esa forma electricidad. Las mareas suben y bajan dos veces al día en todo el planeta. Para lograr un mayor rendimiento de este tipo de energía habría que realizar estudios que identificaran los lugares donde las mareas sean más altas y la corriente alcance una velocidad adecuada.

Como se verá, el aprovechamiento de la energía mareomotriz no es una idea nueva.

En principio, parece lógico que la energía mareomotriz y las demás energías de



origen marino no puedan desbancar inmediatamente a las formas de producción tradicionales. Uno de los problemas para el desarrollo de la energía mareomotriz es que tiene que competir con otras fuentes de energía renovables, como la eólica, la solar y con otras ya implantadas y desarrolladas como la nuclear, la térmica y su hermana la hidráulica. La implantación de esta fuente de energía alternativa depende del desarrollo de la tecnología adecuada, de que esta tecnología sea económicamente asequible y de que el precio del kilovatio pueda competir con el de las otras fuentes de energía.

### Aparición de los primeros molinos y el aprovechamiento de la energía hidráulica

#### Molinos manuales

El hombre del Paleolítico era nómada, cazador y recolector de frutos silvestres y se alimentaba sobre todo de la carne de la caza y alimentos vegetales sin ningún tipo de transformación o elaboración (granos, bayas, semillas y pequeños frutos). La utilización de la agricultura en el Neolítico propició grandes cambios en la forma de vida del hombre del prehistórico como la aparición del sedentarismo y de las primeras formas urbanas, de comercio, de la cerámica y de nuevos hábitos alimenticios. El hombre aprendió a cultivar las plantas que necesitaba y a domesticar animales, se hizo agricultor y ganadero y pasó de comer los cereales simplemente masticados a utilizar los molinos de mano para machacar el grano y facilitar su digestión.

El hombre aprendió a moler de forma rudimentaria granos de cereales que él mismo cultivaba, con machacadores o morteros de madera o piedra. En un primer momento, machacaba, trituraba o molía los cereales como el trigo y la cebada dándole golpes hasta convertirlos en una harina muy gruesa con la que hacía tortas, papillas y galletas y, con el paso del tiempo, se podría cocer con esa harina un pan muy basto.

El cereal se introducía en un recipiente con forma cóncava en el que se golpeaba el grano con un palo o piedra. En muchos castros aparecen excavados en la piedra unos huecos de forma circular que podrían haber servido para realizar manualmente la molienda.

También aparecen en las excavaciones arqueológicas restos de los molinos barquiformes o naviculares (figura 1), que se construían utilizando una piedra grande con la parte superior cóncava sobre la que se hacía rodar manualmente



Figura 1. Molino barquiforme, navicular o de vaivén (Pascual y García 2011).



Figura 2. Molinillo de mano rotativo (Fernández y Fernández, 1998).



Figura 3. Molino pompeyano (molino del capellán, 2011).

otra piedra de menor tamaño en forma de rodillo.

Cabe mencionar más adelante la aparición de los molinos de mano rotativos (figura 2), muy utilizados por los celtiberos. Se trata de pequeños molinos de mano compuesto de dos piedras circulares planas superpuestas (la superior móvil y la inferior fija). La piedra superior móvil se gira empujada por la mano, que se agarra a un palo de madera clavado en un agujero lateral. De esta manera, se imprime un movimiento de rotación completo de la piedra móvil. El cereal en grano se echa por un agujero situado en el centro de la piedra superior y sale convertido en harina por los bordes.

Otra clase de molinos, los llamados de sangre, son los que emplean la fuerza humana o de animales domésticos para mover las muelas, las cuales aumentan considerablemente de tamaño y permiten triturar mayores cantidades de grano y atender una demanda creciente. Probablemente, en la Antigua Roma convi-

vieron diversos tipos de molinos: los pompeyanos (figura 3), los de sangre y los de viento y los hidráulicos.

En la ciudad romana de Pompeya, destruida en el año 79 d. C. por una erupción del Vesubio, se han descubierto numerosas panaderías, compuestas por despacho de pan, horno y molino. Este molino utilizado en Pompeya estaba formado por un elemento fijo de forma cónica y otro móvil formado por dos troncos de cono huecos unidos en la zona más estrecha. El tronco de cono superior servía de tolva para introducir el grano y el inferior encajaba en la parte fija y servía para moler el grano cuando giraba. Se trata de molinos movidos por la fuerza de animales (mola asinaria) que se podían instalar en el mismo recinto de la panadería.

#### Molinos hidráulicos

Los molinos hidráulicos son artilugios que transforman la fuerza del agua en energía mecánica que se puede utilizar para la molienda de cereales, serrar la madera,

trabajar el hierro en las herrerías, etcétera. La cultura grecorromana ya conocía la técnica del molino hidráulico. En el siglo I a. C., el arquitecto, ingeniero y tratadista romano Marco Vitrubio, en el décimo libro de su tratado *De Architectura*, el más antiguo sobre arquitectura conservado, describió una rueda hidráulica vertical con unas aletas que transmitían su movimiento, al ser empujada por el agua, por medio de unos engranaje a las muelas.

En Barbegal, población del sur de Francia situada cerca de Arlés, los romanos construyeron un complejo industrial harinero que se considera el “primer testimonio arqueológico de una utilización industrial de la fuerza hidráulica” (Leveau, 1996). Estaba formado por dos hileras, una paralela a la otra, con ocho molinos hidráulicos en cada una de ellas. En total, se contabilizan 16 molinos (figura 4). Cada hilera forma una estructura en forma de escalera de tal forma que el agua al caer desde la parte superior proporciona la fuerza para mover los mecanismos del molino. El agua se suministraba a través de dos acueductos. En un principio, se fechó su construcción a finales del siglo III d. C., pero actualmente se considera como que es más acertado situarlo a inicios del siglo II d. C.

Una estructura industrial parecida la encontramos en los llamados molinos del Folón, en el municipio pontevedrés de O Rosal. Se trata de 36 molinos dis-

puestos en cascada en una sola hilera. Su datación es muy posterior a la de los molinos franceses; la datación más antigua se sitúa en el siglo XVIII d. C.

En España, en el siglo XVI, destaca la figura de Juanelo Turriano, inventor hispanoitaliano. Se le atribuye, no sin cierta polémica, la obra *Veintiún Libros de los Ingenios y Máquinas* en uno de cuyos libros se describe y dibuja una gran cantidad de molinos y se ofrecen interesantes dibujos de los mismos. También construyó una máquina hidráulica, el ingenio de Toledo y artificio de Juanelo, para subir agua desde el Tajo hasta el Alcázar de Toledo utilizando la propia fuerza hidráulica del río.

En la Edad Media, se amplió el abanico de utilidades de la energía hidráulica. Además de utilizarse para la molienda, comenzó a usarse en otras industrias, como los batanes, las serreñas, las herrerías, etcétera.

También se introdujo en el medioevo la utilización del “cubo”. El “cubo” era un depósito de piedra de forma cilíndrica en el que se embalsaba agua. Este depósito finalizaba en un orificio a través del cual salía el agua a gran presión dirigida hacia la rueda. Este sistema permitía aprovechar mucho mejor los cursos de los ríos que tenían un escaso caudal.

Ya en el siglo XX se realiza la transformación de algunos molinos en pequeñas centrales hidroeléctricas para producir electricidad. Fue la misma electricidad la que

provocó el abandono de estos molinos, al construirse las modernas fábricas de harina que utilizaban motores eléctricos cuyo rendimiento industrial era muy alto y contra la que no podían competir los viejos molinos, de limitada producción industrial.

### Molinos de mareas

Los molinos de mareas, en lugar de utilizar la fuerza del agua de los ríos en su descenso hacia el mar, aprovechan las subidas y bajadas periódicas del nivel del mar para poner en marcha los mecanismos que hacen girar las piedras del molino, responsables de la trituración del cereal. Cuando la marea sube, el agua va inundando la zona en la que se almacena, contenida en un dique. Una vez alcanzada la pleamar o marea alta, el agua queda retenida mediante un sistema de compuertas. Cuando la marea comienza a bajar y hay un desnivel suficiente, se abren las compuertas, liberando el agua hacia el mar. El flujo de agua hace girar una rueda que transmite la energía a los engranajes que accionan las piedras del molino. Después de la bajamar o marea baja, el nivel del agua empieza a subir de nuevo y el molino va perdiendo potencia hasta que se detiene (figura 5).

Esta aparente sencillez se desvanece cuando constatamos que el ciclo de las mareas varía cada día, y que la amplitud de las mareas (diferencia entre la pleamar y la bajamar) suele ser diferente a lo largo del año. Este fenómeno obligaría al cam-

Figura 4. Molinos de Barbegal (Fernández y Fernández, 1998).

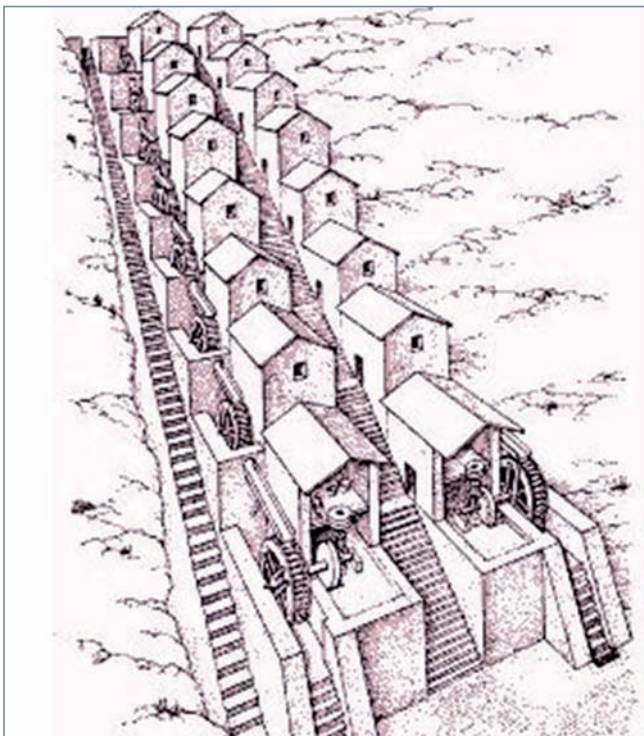
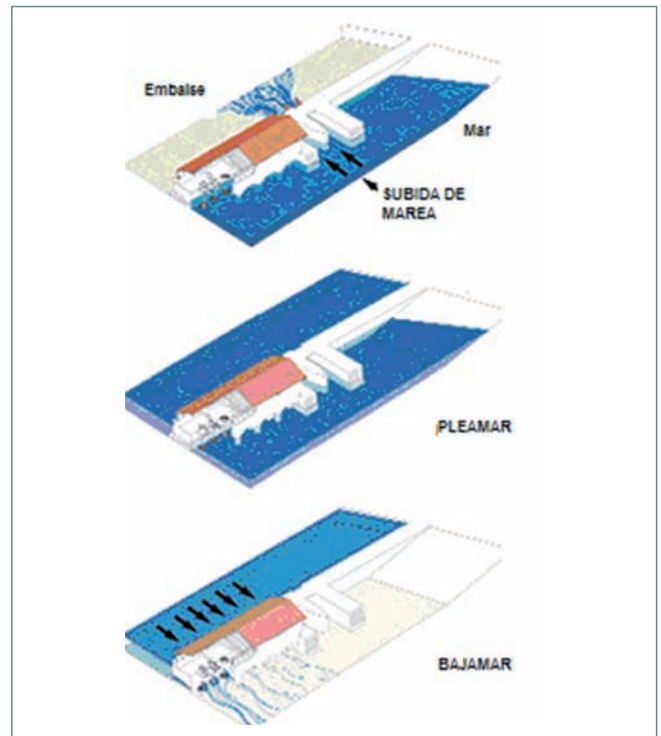


Figura 5. Esquema de funcionamiento de un molino de mareas (Azurmendi y Gómez, 2005).





pesino medieval a realizar las entregas del cereal al molinero a horas diferentes, lo que, unido al hecho de ser la mujer de la casa la que hacía la entrega, convertía el molino en un centro social, sobre todo femenino, que alejaba a las féminas de su tradicional aislamiento. En muchas ocasiones hubo de regularse esta actividad en los molinos con el pretexto de conservar la moral y las buenas costumbres.

Generalmente, un molino está compuesto por un edificio en el que están instalados los mecanismos de la molienda, un embalse en el que se almacena el agua y los muros del dique de contención del agua (figura 5).

En cuanto a la tipología, en algunos molinos las ruedas, que se mueven con el flujo y reflujo de las mareas, se encuentran en una posición vertical, como sucede en los molinos del Reino Unido, Bélgica y del noroeste de Francia, mientras que en otros países son horizontales; es el caso de los países de la península Ibérica y de algunas regiones francesas e irlandesas.

Además de la molienda de cereales, los molinos de mareas se han usado para trabajos de serrería, limpieza y desecación de canales, desecación de pantanos, descascarillado de arroz, molienda de especias, caolín, sal y huesos (para hacer fertilizantes), fabricar papel y hielo.

Los molinos de mareas son más abundantes en la costa atlántica y cantábrica europea, por ser más fuerte la diferencia entre la pleamar y la bajamar, que en la mediterránea, y se solían construir en entrantes costeros (bahías, rías, ensenadas, estuarios) que facilitan el embalsamamiento del agua con la subida de la marea. También se tenía en cuenta para su emplazamiento la amplitud de las mareas en la zona y el desarrollo demográfico y portuario del entorno.

### Perspectiva histórica de los molinos de mareas

Hasta fecha reciente solo se conocían citas documentales que fechaban los primeros molinos de mareas a comienzos del siglo X, pero la introducción de técnicas arqueológicas en el estudio de este tipo de edificios está modificando esas referencias documentales y sitúan los primeros molinos en el siglo VII.

En cualquier caso, la cuestión del origen de los molinos de mareas no está resuelto y los datos pueden variar con nuevas investigaciones. Una buena parte de las investigaciones se centran en un horizonte atlántico, aunque para establecer una línea de evolución hay que hacer referencia a dos zonas lejanas

del área atlántica: el golfo Pérsico y el Mediterráneo.

En cuanto a las referencias documentales, una cita del geógrafo musulmán Muhammad ibn Ahmad Shams al-Din Al-Muqaddasi hablaba de que las mareas de Basora (actualmente perteneciente a Irak) hacían funcionar los molinos. Dicha cita hizo que se plantease un posible origen oriental de los molinos de mar, datándose en el siglo X (Minchinton, 1979).

Otra referencia documental realizada sobre la interpretación de los textos de Girolamo F. Zanetti y de Cristoforo Tentori sitúa este tipo de molinos sobre las marismas de Venecia en el siglo XI. No obstante, sobre esta interpretación de los textos existe división de opiniones entre diversos investigadores (Bennet y Elton, 1973) (White, 1962).

Basándose en una cita del Domesday Book, se cree, también con cierta controversia, en la posible existencia en Dover en 1044 de un molino de mareas.

Si en los casos citados anteriormente surgen algunas controversias para aceptar que se trataba de molinos de mareas, parece que no plantean dudas las referencias históricas que datan este tipo de estructuras arquitectónicas en Francia e Inglaterra en el siglo XII (Le Bacon, 1982) (Minchinton, 1979).

En el siglo XIII está documentada la existencia de molinos de mareas en Holanda (Nolthenius, 1954) y Portugal (Castelo-Branco, 1978).

En España, las primeras citas aparecen vinculadas a documentos que hacen referencias a diferentes abadías. Por ejemplo, se citan molinos de mar adscritos a la abadía de Valdediós en 1245, en Asturias, y el de Puerto de 1047, en Can-

tabria, aunque en muchas de esas citas se pone en duda por los especialistas si se hace referencia realmente a verdaderos molinos de mareas. Sin embargo, en España no figuran fehacientemente constatados hasta el siglo XVI en Cádiz y Cantabria (Azurmendi, 1985) y País Vasco (Hormaza, 1985).

Si anteriormente se hacía referencia a las fuentes documentales, cuando se emplean fuentes arqueológicas, el primer molino de mareas se dataría a comienzos del siglo VII en la abadía de Nendrum, en Irlanda del Norte. Los trabajos de excavación realizados junto a dicha abadía pusieron al descubierto la existencia de dos molinos con sus respectivos embalses (McErlean y Crothers, 2007).

En cuanto a la situación geográfica de estos molinos en la costa europea, aunque su presencia se extiende a lo largo de todo el litoral atlántico, en algunas zonas de la costa, por sus especiales características, existieron fuertes concentraciones de molinos de mareas (figura 6).

En el caso de España, encontramos una zona de alta concentración de este tipo de molinos en Cantabria. También está constatada su construcción en el litoral atlántico de Andalucía, en las marismas del Bajo Guadiana, en la ría de Huelva y en la zona de la bahía de Cádiz; el comercio con América y la existencia de puertos cercanos determinaron su proliferación. En Galicia, la mayor concentración de este tipo de estructuras arquitectónicas se da en el fondo de las rías y en pequeñas ensenadas donde se dan las condiciones ideales para aprovechar el flujo y reflujo de las mareas. No se puede dejar de mencionar su existencia en la costa del País Vasco y Asturias.

Figura 6. Localizaciones más importantes de molinos de mareas (Energía de los océanos, 2011).



En Portugal, su presencia se centra, sobre todo, en el estuario del río Tajo, principalmente en su orilla sur; la cercanía de Lisboa, la gran actividad portuaria y la necesidad de abastecer a la flota portuguesa motivaron la construcción y ampliación de este tipo de construcciones. Otra zona portuguesa en la que se encuentran molinos de este tipo es el Algarve, esencialmente en la zona de ría Formosa, en un área de la costa atlántica formada por un cordón de dunas.

En Francia, encontramos su presencia en nordeste y sudeste de la región de la Bretaña. En el nordeste de esta región, la construcción de estos ingenios se centra sobre todo en el estuario del río Rance, que está sometido a una de las mareas más fuertes de Europa, con una amplitud de entre 10 y 13,5 metros. En el sudeste bretón, encontramos el golfo de Morbihan, salpicado por cerca de 40 islas. Este golfo comunica con el océano por un estrecho canal que está sometido a fuertes corrientes; debido a estas características se construyeron en esta zona varios molinos de mareas.

En Gran Bretaña es de destacar que existieron en torno a 24 molinos de mareas en la ciudad de Londres y sus alrededores durante la época medieval. También se constata la existencia de estas estructuras arquitectónicas en las cercanías de las ciudades Portsmouth y Southampton, en la costa sur de Inglaterra, donde existían molinos en la zona de Beaulieu y Lyminster y en el entorno de isla de Wight.

En los Países Bajos, destaca como zona de concentración de estos molinos el estuario del río Escalda; desde ahí los molinos se extendieron a zonas distantes como Gante, Mechelen, Lier y Boon.

### Centrales mareomotrices en funcionamiento

#### El estuario del río Rance

Rance es un río de la Bretaña francesa que desemboca en un vasto estuario que el mar inunda dos veces al día; en este lugar se construyó la que se considera la primera central mareomotriz para la producción de energía eléctrica (figura 7). Y aquí el movimiento de las aguas del mar, las mareas, tiene una amplitud muy importante. En las grandes mareas vivas, la diferencia de nivel entre pleamar y bajamar alcanza 13,5 metros.

La explotación de esta central hidroeléctrica se haría de una forma similar a la de los antiguos molinos de marea que había en las costas de Bretaña. Para poner en funcionamiento las turbinas que generan la electricidad, resulta necesario que la diferencia de niveles a un lado y otro del dique sobrepase un nivel ideal.



Figura 7. Central del río Rance (Energía de los océanos, 2011).

Cuando sube la marea se llena un embalse conteniendo el agua con un dique. Una vez que se llega a la pleamar se cierran unas compuertas y se deja el agua almacenada, hasta que la marea baja. Cuando la marea empieza a bajar se espera hasta que la diferencia de niveles entre ambos lados del dique alcance un nivel idóneo y, entonces, se permite el paso del agua, cuya fuerza mueve unas turbinas que generan electricidad.

El proceso también se realiza en sentido inverso. Siendo igual el nivel de agua en el estuario y en el mar, al comenzar subir la marea, se mantendrán cerradas las compuertas y los grupos sin funcionar, hasta que la diferencia de niveles alcance el valor idóneo. En ese momento, los grupos deben empezar a funcionar. La central, por tanto, no puede generar energía durante las 24 horas del día.

El aprovechamiento de la energía aumenta utilizando el bombeo. Estando mar y estuario con nivel prácticamente igual, se bombea agua del mar al estuario; se puede conseguir que el volumen de agua almacenado aumente de forma importante y que el nivel del estuario sea mayor que el de la marea alta. En esta situación, cuando la marea baja en sentido de estuario a mar, se obtendrá bastante más energía que si no se hubiese bombeado agua del mar al estuario.

Las condiciones idóneas para la implantación de una central mareomotriz se cumplen en este estuario (Hermosillas, 1997) que constituye un lugar ideal por las siguientes razones:

La amplitud de la marea es de gran amplitud (13,5 metros en mareas vivas).

La anchura del estuario es relativamente pequeña (750 metros).

El cimiento es favorable para ubicar las obras, pues tiene roca de buena calidad.

El dique de la central crea un embalse de 180 millones de m<sup>3</sup> de capacidad.

La dirección del río hace que la central esté al abrigo de tempestades.

En la central de Rance se construyó dejando en seca casi toda la zona que ocuparía la central.

La Rance se finalizó de construir en 1967, pero dejó una serie de problemas sin resolver y, además, su proceso constructivo resultó muy costoso.

#### Central de Kislaya-Guba

Está situada en el mar de Barentz, Rusia, al norte de la península de Kola, cerca de la ciudad de Murmansk. En esa zona la amplitud de la marea no sobrepasa los 3,9 metros, cifra bastante limitada para una central de este tipo, pero la entrada de la bahía es bastante estrecha y la profundidad oscila entre 4 y 5 metros. Estas características, poco eficientes para la construcción de una central mareomotriz, permitían realizar las obras necesarias para cerrar el paso del agua con un coste moderado, pues fue concebida como banco de ensayos, como central experimental, dentro de un plan diseñado por los antiguos dirigentes de la Unión Soviética, para, posteriormente, aplicar los conocimientos obtenidos en la construcción de nuevas centrales mareomotrices.

Los procesos constructivos aplicados en La Rance y en Kislaya-Guba fueron esencialmente distintos. En Kislaya-Guba los módulos de la sala de máquinas y del dique fueron fabricados en tierra y llevados flotando al lugar elegido, siguiendo la técnica desarrollada por los holandeses al construir las obras del llamado Plan Delta. Siguiendo el ejemplo de los holandeses, se prefabricaron en tierra cajones de hormigón armado, situando en su interior todo lo necesario



para producir energía eléctrica. Lo construido en tierra firme se llevó flotando hasta su emplazamiento definitivo.

Esta central comenzó a funcionar como planta piloto experimental en 1968.

### Otras centrales mareomotrices

Cabe citar, también, la central de Annapolis, situada en la bahía de Fundy, en Nueva Escocia, Canadá. Funciona desde 1984 y suministra corriente eléctrica para abastecer unos 4.000 hogares, aprovechando una de las mareas con más amplitud de mundo, que llega a tener en algunos días del año entre 16 y 17 metros. Se trata de un proyecto piloto para observar el impacto medioambiental que origina la construcción de plantas mareomotrices, pues la intención era construir diversas plantas mareomotrices de mayor tamaño en la bahía de Fundy. Se ha estudiado, entre otras cosas, la erosión de las orillas, el bloqueo impuesto a la fauna y los efectos sobre la flora que crece en la zona intermareal; también se han comprobado las dificultades que podría causar a la navegación de embarcaciones. Se ha descubierto un posible aumento de las mareas de hasta un metro de altura por modificaciones en el flujo y reflujos del mar, lo que podría causar inundaciones en la costa adyacente, que pueden afectar a la vecina costa estadounidense.

Una última mención hace referencia a la central china de Jiangxia, en la provincia de Zhejiang, puesta en funcionamiento en 1980.

### Conclusiones

Las mareas de los océanos y mares son una fuente limpia e inagotable de energía. En principio, no dependen de la climatología, como sucede con otras energías renovables, como la eólica y la solar.

Siendo una energía limpia, es una opción viable para terminar con los problemas de la contaminación que acarrea otras fuentes de energía no renovables, sobre todo combustión de materiales fósiles (petróleo, carbón, gas, etcétera) que producen anhídrido carbónico. Sin embargo, no está muy desarrollada; los inconvenientes para su desarrollo son la fuerte inversión económica que supone la creación de una central y el impacto ambiental que puede causar el hecho de represar grandes cantidades de litros de agua, creando corrientes nuevas que alterarían en cierta manera los ecosistemas de los lugares donde se ubica. Por ello, buena parte de las investigaciones deberían centrarse, aparte de en las cuestiones técnicas, en minimizar los costes financieros y en rebajar el impacto medioambiental.

Una posible solución a estos inconvenientes sería utilizar sencillas estructuras metálicas con turbinas, que serían colocadas en zonas con fuertes corrientes provocadas por las mareas. Al mover las corrientes las turbinas producirían la electricidad. Con este sistema se evitaría la construcción de diques.

Comparativamente, la energía mareomotriz se encuentra en una situación parecida a la de la energía eólica hace unas pocas décadas. En muchos casos, al igual que en el comienzo de la utilización de la energía eólica, y salvo en el caso de La Rance, se trata de pequeños proyectos experimentales en los que se trata de vislumbrar los problemas que la utilización de esta energía puede originar. Quizá veremos en este caso una evolución parecida a la de energía eólica.

Los estudiosos de las mareas y corrientes marinas han asimilado muchos conceptos del trabajo de investigación con la energía eólica. Las movimientos de agua y de aire se comportan de forma similar pero, como el agua es más densa, contiene mucha más energía en el mismo volumen. Esta circunstancia proporciona una ventaja respecto a los movimientos del aire, porque las turbinas que deben mover el agua pueden ser más pequeñas y, si la tecnología mejora, se podría producir más electricidad con corrientes más suaves.

Tal vez no se necesite tanto tiempo para desarrollar la tecnología necesaria para aprovechar la energía mareomotriz como se ha necesitado para establecer la usada en la captación de la energía eólica, porque los ordenadores y las herramientas de investigación son mucho mejores ahora que antes y se cuenta con la experiencia de años de estudio en la energía eólica que pueden ser aplicada a la mareomotriz. La mayor precisión de los modelos informáticos favorece el aumento de rendimiento y la eficiencia de las turbinas.

Según diferentes estudios realizados por el Electric Power Research Institute de Estados Unidos, en términos generales, se puede obtener mucha más energía del viento que de las mareas, pero la energía mareomotriz se produciría en zonas cercanas a la costa donde se concentra la mayor parte de la población.

### Bibliografía

- Azurmendí Pérez L (1985). *Molinos de mar*. Colegio Oficial de Arquitectos. Santander. ISBN 84-505-1342-1.
- Azurmendí Pérez L y Gómez MA (2005). *La arquitectura y el paisaje en Molinos de mar y estuarios*. VV.AA. Asociación Cultural Tajamar. ISBN 84-930974-4-6.
- Bas López, B (1990). *Las primeras menciones de los molinos de mareas de Galicia*. Lull: Revista de

*la Sociedad Española de las Ciencias y de las Técnicas* 13;24:43-56.

- Bennet R y Elton J (1973). *History of Corn Milling*, Vol. 2, *Watermills and windmills*. Wakefields, Yorkshire.
- Castelo-Branco F (1978). *A plea for the study of tide mills in Portugal* In: *Transactions of the first International Symposium of Molinology*. Portugal. 1965, September. Bibliotheca Molinologica. 81-84.
- Derry TK y Williams TI (1986). *Historia de la Tecnología*. Siglo Veintiuno de España Editores. Madrid. ISBN 84-323-0282-1.
- Electric Power Research Institute. Disponible en: <http://www.epri.com> (consultada 20-10-2011).
- Energía de los océanos. Los molinos de marea. Disponible en: <http://sites.google.com/site/molinosde-marea/home> (localización geográficas de los molinos y central de La Rance) (Consultada 25-10-2011)
- Fernández Lavandera E y Fernández Rodríguez C-M (1998). *Los molinos: patrimonio industrial y cultural*. GEU. Granada. ISBN 978-84-89908-29-1.
- Hermosilla Villalba F (1997). *Centrales mareomotrices, treinta años de historia*. Revista de obras públicas 3370:51-68.
- Hormaza JM (1985). *Algunas noticias del molino de marea de Gazteluondo (Plentzia-Bizkaia) y su venta en 1810*. Eusko Ikaskuntza/Sociedad de Estudios Vascos, Cuadernos de Sección Antropología. Etnografía 3:169-83.
- Le Bacon JP (1982). *Moulins á marée et Seigneurie sous l'Ancien Régime dans le Morbihan*. In: J. Guillet & A V Ag. *Meuniers et moulin á marée du Morbihan*. La Chasse-Marée, 5, 43.
- Leveau P (1996). *Les moulins de Barbegal dans leur environnement*. Archéologie et histoire économique de l'Antiquité, Histoire et sociétés rurales 6, 2° semestre 1996, p. 11-29.
- McErlean T y Crothers N (2007). *Harnessing the Tides. The Early Medieval Tide Mills at Nendrum Monastery, Strangford Lough*. The Stationery Office and Environment and Heritage Service. Belfast. ISBN 978-0-337-08877-3.
- Minchinton WE (1979). *Early tidemills: some problems*. *Technology and Culture* 20(4):777-786.
- Minchinton W & Meigs P (1980). *Power from the sea*. *History Today*, 30 (March):42-46.
- Molino del capellán. Aula de la naturaleza. Centro de interpretación de la molienda. Disponible en: [http://www.molinodelcapellan.com/historia\\_de\\_los\\_molinos.htm](http://www.molinodelcapellan.com/historia_de_los_molinos.htm) (molino pompeyano) (consultada el 10-11-2011).
- Nothhenius AT (1954). *Getijmolens in Netherland*. *Tijdschrift von het Koninkrijk Nederlands Aardrijkskundig Genootschap* 71:186-199.
- Pascual P y García P. *Canteras de piedras de Molino en el Patrimonio de Trébago* [www.trebago.com/revistas/27/10canteras.asp](http://www.trebago.com/revistas/27/10canteras.asp) (Consultada 14-10-2011).
- Palomo J y Fernández M P (2006). *Los molinos hidráulicos en la Antigüedad*. *Espacio, Tiempo y Forma*, Serie II, Historia Antigua, t. 19-20:499-524.
- Rivals C (1973). *Tidemills in France* In: *Third Transactions of the International Molinological Society*, ed. M. van Hoogswaker.
- White L jr. (1962). *Medieval Technology and Social Change*. Oxford. ISBN 0-19-500266-0.

### José Luis Calvo Rolle

jcalvo@cdf.udc.es  
 Profesor de la Escuela Politécnica de Ferrol, Universidad de La Coruña, en el área de Ingeniería de Sistemas y Automática.

### Juan Aurelio Montero Sousa

jamontero@lugo.uned.es  
 Licenciado en historia y derecho y graduado social. Profesor tutor en la Universidad Nacional de Educación a Distancia.