

# Aprovechamiento de la Energía Undimotriz en el Mar Argentino

*Pelissero M. A., Haim P. A., Oliveto G., Montoneri M; Lifschitz A., Gagnieri D., Tula R., Galía F. ,  
Muiño F., De Vita G. , Heinke .E., Bernal S., Santino T., Cirelli E., Ferré N., Lifschitz A.*

UTN-FRBA, Medrano, N° 951, C1179AAQ. C.A.B.A, Argentina.

undimotriz@gmail.com

**RESUMEN:** La energía undimotriz aparece como una importante alternativa dentro de la categoría de las energías renovables de origen marino; se basa en el aprovechamiento de la energía contenida en las ondas marinas que se generan por la acción del viento sobre su superficie; cabe aclarar que la densidad de energía de las ondas es varias veces superior a la densidad energética de la energía eólica.

Varios países han asumido el desafío del desarrollo de tecnologías capaces de aprovechar este recurso, tal el caso de Gran Bretaña, Escocia, España, Portugal e Israel y en el ámbito latinoamericano tanto México como Brasil. Dadas las características del litoral marítimo argentino estamos en presencia de un extraordinario recurso que lamentablemente aún no hemos reconocido pero que estamos dispuestos a estudiar y hacer uso de él.

El objetivo de este proyecto es informar de la presencia del recurso y principalmente del diseño y fabricación de un dispositivo que transforme la energía undimotriz en fluido eléctrico. El objetivo final de esta propuesta es la creación de parques marinos para la provisión de energía eléctrica de fuente renovable a las poblaciones dispersas de nuestro litoral oceánico y en el futuro ser proveedor del Sistema Interconectado Eléctrico Nacional. Este proyecto de I+D+i (Investigación y Desarrollo) de la UTN FRBA (Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Buenos Aires) está constituido por una serie de grupos interdisciplinarios que están trabajando en los distintos temas que involucrados en el proyecto.

Durante el 2011 y 2012 se construyó el equipo a escala 1:20 y durante el 2013 y 2014 se construirá el equipo a escala 1:10 que será llevado para ensayar en los canales de olas del INA (Instituto Nacional del Agua). El sistema de captación de la energía del dispositivo ha sido registrado en el INPI (Instituto Nacional de Propiedad Industrial) el día 27/09/11 con la patente n° 20110103542. Dicho registro fue publicado en el boletín del INPI del 06/02/2013 (ISSN 0325 -6545).

## INTRODUCCIÓN

En un mundo con población creciente, una demanda energética con aumento exponencial, y donde los recursos energéticos tradicionales se están agotando, es necesario encontrar nuevas alternativas de abastecimiento de energía.

El agua es un extraordinario vector energético por su capacidad de acumulación y transporte de energía, dándonos lugar a considerar a los mares como una de las mayores fuentes de potencial y disponibilidad en nuestro planeta.

La potencialidad de la energía del mar se encuentra radicada en su abundancia; convirtiéndolos en inmensos colectores que recogen diariamente una extraordinaria cantidad de energía proveniente del sol.

La clave de esto es que debemos entender al mar, se trata tan solo aprovechar una porción de su energía y el resto será para el deleite de la humanidad, dominar el mar es imposible pues siempre será más poderoso que nosotros.

Una de las principales ventajas de la *energía undimotriz* es que es un recurso renovable, abundante y no genera contaminación durante su aprovechamiento. No debe confundirse con las otras energías oceánicas como la energía mareomotriz o la energía de las corrientes marinas. Es el resultado simbiótico entre el mar y el viento; el mar como soporte y al viento como motor.

La importancia de la energía undimotriz es tal que supera en densidad energética a la energía eólica y solar, se calcula que su potencia oscila entre 40 a 100 kW [Roberto Legaz, (2011). *Asamblea de Energías Renovables, Energías Marinas*. Santander, España.] por cada metro de frente de onda, además de mantenerse constante durante casi todo el día a lo largo de todo el año, sacando ventaja respecto de otras energías renovables.

Nos planteamos conformar un grupo de profesionales capaces de generar un proyecto confiable y consistente con identidad propia que refleje nuestra realidad sobre la base de nuestra capacidad intelectual y la mano de obra de nuestro país.

### *Fuentes oceánicas de energías*

Una de las tecnologías más conocidas es la denominada energía mareomotriz, que está vinculada al aprovechamiento de la amplitud en los niveles de las mareas, sin embargo, el impacto ambiental que produce ha generado un total rechazo a su implementación. Otras alternativas en vías de estudio concreto lo representan el aprovechamiento de las corrientes marinas que junto con el aprovechamiento de la energía undimotriz están marcando un camino al respecto.

Algunas alternativas más exóticas son el aprovechamiento del gradiente salino en los estuarios, la energía geotérmica submarina, los yacimientos de hidratos de carbono y finalmente la energía maremotérmica.

El aprovechamiento de la energía undimotriz es un planteo muy joven pero su aprovechamiento data de principios del siglo XX. Los datos recabados recientemente nos indican que el potencial es enorme y cabe señalar que existen interesantes experiencias en muchos países, con dispositivos en fase experimental y

algunos pocos se encuentran en fase de explotación comercial; tal es el caso del sistema Pelamis en Portugal y el sistema de columna oscilante de agua denominado Mutriku en España.

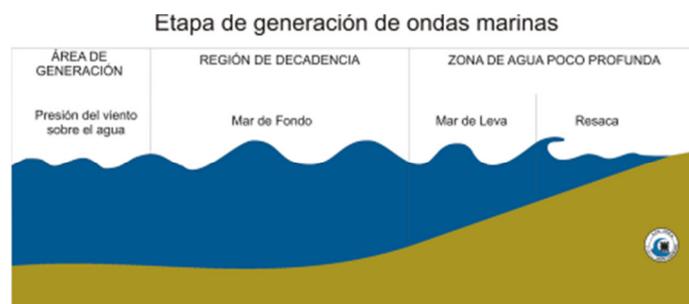
Las posibilidades que nos brinda el mar son muchas, debemos tomar conciencia que es una fuente extraordinaria de energía que no estamos aprovechando actualmente en nuestro país.

## ENERGÍA UNDIMOTRIZ

El término undimotriz se origina en la palabra onda y se aplica tanto a las ondas marinas en las zonas medianamente cercanas y alejadas de la costa (middle y off shore) como también a la franja costera (on shore); nuestro proyecto está vinculado al aprovechamiento en las zonas medias y cercanas de la costa, esto se debe a que es en esa franja donde se obtiene la máxima cantidad de energía.

Este fenómeno es eminentemente de características superficiales y es el viento su promotor; ya que se origina a partir del rozamiento de las masas de aire sobre la superficie del mar; la marea y las corrientes marinas presentan una influencia menor.

En la figura 1 se puede apreciar la forma en que originan las ondas y su desarrollo.



**Figura 1.-** Etapas de la vida de una onda.

El fenómeno undimotriz se puede aprovechar en la superficie marina (movimiento ondular) o en la costa (choque contra la costa).

### *Mapa Mundial del Recurso Undimotriz*

El Instituto de Ingenieros Mecánicos de Gran Bretaña elaboró un mapa global donde expresa los valores de la energía undimotriz en forma de potencia por unidad lineal, allí se puede apreciar el extraordinario potencial latente en nuestro litoral marítimo, datos manifestados van de los 30 a 100 kW por cada metro de ola. En la figura 2 se indica el mapa mundial de energía expresada en kW por cada metro de frente de onda.



**Figura 2.-** Mapa mundial de energía expresada en kW por cada metro de frente de onda.[I. Mech. E.. (1991) Wave Energy paper. European Directory of Renewable Energy.]

### *Características de la energía undimotriz*

Los océanos actúan como acumuladores de la energía cedida por el sol y el viento; en el caso de la Energía undimotriz; la cantidad de energía dependerá de la duración e intensidad de los vientos.

Las energías renovables se caracterizan por su variabilidad e intermitencia pero en el caso de la undimotriz existe un consenso internacional de su consistencia.

El agua resulta ser un vector energético extraordinario, se lo conoce por la capacidad de almacenamiento de la energía (este tema es reconocido a partir de los emprendimientos hidroeléctricos); la energía posible de ser aprovechada es superior a las otras alternativas renovables de mayor difusión; esto se debe a que la densidad del agua es muy superior al aire (835 veces mayor).

Otras fuentes consultadas indican tal cual se puede apreciar en la tabla 3, la densidad de energía contenida por la masa oceánica supera a las energías renovables tecnológicamente más afianzadas.

**Tabla 1.-** Cuadro comparativo de la potencia por unidad de superficie de las energías renovables más utilizadas con respecto a la energía undimotriz

Fuente energética	Potencia por cada unidad de superficie (W/m <sup>2</sup> )
Biomasa [7]	0,6
Solar [8]	200
Eólica [8]	400 a 600
Undimotriz [8]	2.000 a 3.000

Obs: Cuadro de realización propia con valores referenciados. [Ing. Agrónomo. M. Jorge A. Hilbert. (2010). Biomasa. Maestría Energías Renovables UTN. Buenos Aires, Argentina.][Pedro Ibáñez. (2005). Energía del Mar. Robotiker Tecnalia. Zamudio, España.]

La conclusión del cuadro nos indica que la energía undimotriz resulta 5 veces más concentrada que la energía eólica y 30 veces más concentrada de la energía solar.

## *Mar Argentino y Dirección de las Ondas*

La costa patagónica presenta un escenario óptimo de trabajo debido a la escasa profundidad del lecho marino (200 m) aún a distancias considerables de las costas (200 millas), esto facilita la instalación de los equipos. [Francisco Galia. (2011). Energía del Mar, congreso HyFUSEN. Mar del Plata, Argentina]

El litoral marítimo de nuestro país tiene una longitud de 5.087 km, su superficie es de 2.800.000 km<sup>2</sup> cuenta con una plataforma que ensancha hacia el sur.

Una de las fortalezas de este proyecto es la presencia constante del viento en nuestro mar austral, generando el fenómeno de manera regular y con buena intensidad. Por otro lado, de no registrarse acción del viento en la región de captación, se podría verificar la presencia de ondas provenientes de regiones lejanas.

Los antecedentes internacionales indican que la tecnología actual tiene una limitación técnica de captación de ondas que van de 0,5 a 2,5 metros de altura.

En nuestro país la altura de las ondas va desde 1 hasta 2m dependiendo de la región a analizar, al sur mayor altura de ondas.

## OBJETIVO

Nuestra intención con el primer modelo fue el abastecimiento de energía eléctrica por ejemplo de la iluminación de la franja costera de alguna población bonaerense; a medida que pasó el tiempo y los avances que realizamos expandimos nuestra intención en la propuesta de generar una tecnología técnicamente viable, económicamente factible y de bajo impacto ambiental capaz de transformar la energía undimotriz en fluido eléctrico para poblaciones costeras dispersas de la Patagonia.

Nuestra visión es la creación de parques acuáticos y poder alimentar a ciudades.

## *Aspecto Académico*

El carácter académico de este proyecto nos lleva a la formación de cuadros profesionales en la temática de la investigación tecnológica aplicada, para ello estamos trabajando sobre la base de profesionales docentes que actúen como líderes de grupos constituidos por jóvenes profesionales y alumnos además de servir de modelo de un proyecto interdisciplinario que abarque la mayor parte de las carreras de nuestra facultad.

Con la energía undimotriz estamos viviendo una experiencia particular pues estamos generando tecnología desde la academia; este es dato no menor pues en general los desarrollos tecnológicos surgen desde la praxis en las industrias y a continuación desde la academia explicamos el fenómeno.

Luego de casi 5 años de trabajo en este proyecto podemos afirmar que en el ámbito de nuestra facultad se está gestando una masa crítica de alumnos con una conciencia ambiental interesada en las energías limpias renovables.

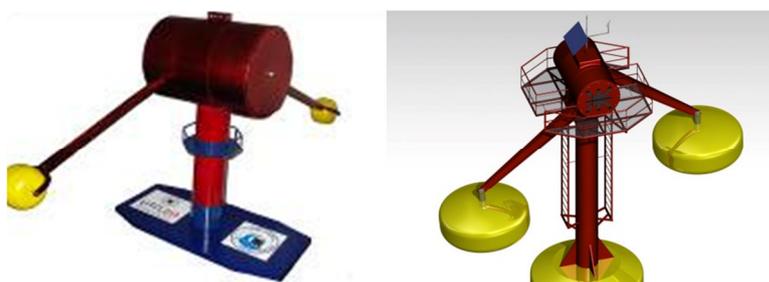
## HISTORIA Y ESTADO DEL PROYECTO

El proyecto comenzó en el 2009 y se conformó el de grupo de trabajo con distintas especialidades. Realizamos una exhaustiva búsqueda de información sobre el estado del arte de equipos undimotrices, que aun continua.

A fin del 2009 logramos diseñar un sistema novedoso capaz de transformar la energía undimotriz en energía mecánica para luego ser transformada en energía eléctrica.

Durante el 2010 hemos calculado, dimensionado un equipo cuyo principio de funcionamiento es netamente mecánica (SM) y comenzado con otro equipo en paralelo sobre un generador eléctrico lineal (GL).

Durante el 2011 hemos construido, armado, ensayado y probado con éxito la cadena cinemática del equipo SM en escala 1:20. El ensayo del equipo primeramente se realizó en vacío, y luego se acoplo el generador que encendía una lámpara de bajo consumo cuando se movía la boya en forma manual.



**Figura 3.-** Fotografías del equipo funcional a escala 1:20 y render a escala 1:1

También presentamos, a nombre de la UTN - FRBA, la solicitud de patente al INPI cuyo número de solicitud es el 20110103542 con fecha del 27/09/11.

Los detalles constructivos del equipo como los resultados de los ensayos no pueden ser mostrados en este trabajo por temas de confidencialidad.

En la actualidad estamos terminando la etapa de fabricación del prototipo 1:10 del SM, que probaremos en una pileta para ensayos de náutica, lo que nos permitirá ajustar los parámetros de diseño para finalmente construir el modelo a escala real.

### *Tipos de Dispositivos*

El aprovechamiento de la energía undimotriz intenta captar ese recurso mediante la aplicación de la tecnología existente pues consideramos que existe un estado del arte maduro para alcanzar el objetivo.

La energía aprovechada será función básicamente del período y la altura de la onda, y se utilizan los equipos solo en condiciones normales, para evitar la destrucción de los mismos en condiciones adversas donde la energía del mar es excesiva.

Nuestro diseño básico del SM es muy simple, consta de un cuerpo donde se aloja el sistema electromecánico unido a un par de brazos de palanca que en su extremo tienen adosada cada uno una boya.

La boya captura la energía del movimiento de las ondas marinas que se transmite por el brazo de palanca al sistema electromecánico donde se genera la corriente eléctrica.

Los aspectos de estanqueidad del dispositivo y durabilidad de los materiales son de especial cuidado en un ambiente de trabajo donde las exigencias mecánicas son extremas y los efectos de la corrosión son devastadores. A continuación en la figura 6 se muestra la imagen del dispositivo en funcionamiento.



**Figura 4.-** Imagen descriptiva de un dispositivo en funcionamiento

Dimensiones: Largo del cuerpo del equipo: 3 m - Diámetro de las boyas: 3 m - Peso de las boyas: 10 ton -  
Largo del brazo: 6 m

### *Ubicación de los Dispositivos*

Este proyecto fue pensado para la creación de “parques para el aprovechamiento de la energía undimotriz”; con varios dispositivos para satisfacer los requerimientos energéticos de una comunidad alejada del sistema de provisión de energía eléctrica o incluso proveer del Sistema Interconectado Eléctrico Nacional.

Los parques se ubicarían a distancias medias de la costa y el traslado de la energía se realizaría mediante un cableado submarino hasta la estación de transformación y distribución de la corriente eléctrica; a los efectos de minimizar el impacto ambiental.

Para la ubicación del prototipo experimental propuso la costa de la ciudad de Mar del Plata, allí el promedio de ondas es de 1,2 m y las profundidades van de 5 a 10 metros.

Este sitio resulta conveniente por la proximidad un centro de consumo y la logística que puede brindar la Universidad Nacional de Mar del Plata y la regional de la UTN.

Finalmente el grupo de trabajo del área oceanográfica ha determinado que el área patagónica especialmente en las provincias de Chubut y Santa Cruz presenta diversos sitios donde este aprovechamiento tendría las mejores condiciones de trabajo.

### *Cálculo de Energía y Potencia*

Se puede deducir la potencia de las olas por unidad de tiempo que atraviesa una distancia del frente de onda ‘y’ tal como se expresa en la Ecuación (1) donde T es el periodo o tiempo transcurrido entre cresta y cresta de las olas.

$$\frac{P(\text{watt})}{y(\text{mts})} = \frac{E(\text{joule})}{y(\text{mts}) \times t(\text{seg})} = \frac{1}{2} \times \rho(\text{kg} / \text{m}^3) \times g(\text{m} / \text{s}^2) \times A^2(\text{m}^2) \times \frac{\lambda(\text{mts})}{t(\text{seg})} \quad (1)$$

Siendo:

P: potencia (watt)	y: frente de ola (metro)
E: energía (Joule)	t: tiempo (s)
$\rho$ : densidad (kg/m <sup>3</sup> )	g: aceleración de la gravedad (m/s <sup>2</sup> )
A: amplitud de onda (metro)	$\lambda$ : longitud de onda (metro)
H: altura de onda (metro)	v: velocidad de onda (m/s)

Si tenemos en cuenta que la velocidad de las olas viene dada por la expresión de la Ecuación (2) y en vez de la amplitud de las olas empleamos su altura (de cresta a valle), Ecuación (3), y la expresión para la densidad lineal de potencia nos queda la Ecuación (4)

$$v(\text{m} / \text{s}) = \frac{\lambda(\text{mts})}{t(\text{seg})} = \frac{\sqrt{g(\text{m} / \text{s}^2) \times \lambda(\text{m})}}{\sqrt{2\pi}} \quad (2)$$

$$H(m) = 2 \times A(m) \quad (3)$$

$$\frac{P(\text{watt})}{y(m)} = \frac{\rho(\text{kg/m}^3) \times g^2(\text{m}^2/\text{s}^4)}{16 \times \pi} \times H^2(\text{m}^2) \times t(\text{s}) \quad (4)$$

Sustituyendo valores numéricos se tiene entonces que si se conoce la altura de las olas en metros y su período en segundos, la potencia en W de las olas por metro de frente de onda será la expresada en la Ecuación (5)

$$\frac{P}{y} \left( \frac{\text{w}}{\text{m}} \right) = 1.96 \left( \frac{\text{kg}}{\text{ms}^4} \right) H^2(\text{m}^2) T(\text{s}) \quad (5)$$

Por ejemplo: En el caso que llegue un tren de olas de 2 metros de altura ( $H = 2 \text{ m}$ ) con un periodo de 20 segundos ( $T = 10 \text{ seg}$ ) tendríamos una potencia por cada metro de frente de onda ( $\text{kW/metro}$ ) =  $1,96 (\text{kg/ms}^4) \times (2 \text{ m})^2 \times 10 (\text{seg}) = 78,4 \text{ kW/metro de onda}$

En lo que respecta al equipo, la potencia estimada, tomando en cuenta el rendimiento, es de 30 KW.

Considerando que una lámpara tradicional de buena iluminación necesita de una potencia de 100 W, el equipo puede suministrar a 300 lámparas. Si fueran de bajo consumo, con una potencia de 20 W y tienen la capacidad lumínica de 100 W serían 1.200 lámparas que se pondrían en funcionamiento.

Como comentábamos en los objetivos, nuestra idea es crear parques acuáticos, por ende, teniendo en cuenta lo que cada equipo puede generar, podemos suministrar energía eléctrica a 5.000 casas, con un total de 200 boyas.

Cantidad de boyas: 200 - Potencia por boya: 30 kW - Potencia total:  $6.000 \text{ kW} = 6 \text{ MW}$ . - La potencia de 6 MW serían suficientes para: Suministrar energía eléctrica a 5.000 hogares (20.000 personas).

## CONCLUSIONES

Se debe entender como una alternativa más para satisfacer la demanda dentro de la matriz energética y principalmente honrar nuestro rol de tecnólogos y devolver aquella formación que la universidad pública nos permitió adquirir mediante un proyecto de tecnología aplicada a la inclusión social.

Muchos expertos manifiestan que el reemplazo natural de los combustibles fósiles está en las fuentes oceánicas; el potencial de nuestro país en este sentido es enorme, y es nuestra oportunidad de mejorar la vida a nuestros habitantes y porque no a toda la humanidad con los extraordinarios recursos que poseemos.

El camino para el desarrollo de estos recursos está abierto para todos los tecnológicos ávidos de desafíos; si bien es cierto que para los inversores existen otros emprendimientos vinculados a energías renovables más

maduros como la energía eólica y solar fotovoltaica, sin embargo desde la academia debemos presentar la energía undimotriz a la sociedad pues la energía contenida es extraordinaria, solo tenemos que cosecharla. Queremos informar a las empresas que existe el recurso y puedan evaluar la posibilidad de su aprovechamiento.

Deberemos considerar que en un futuro cercano las matrices energéticas estarán constituidas principalmente por las energías renovables. Se habla del efecto 20/20/20, es decir que en el año 2020 la matriz energética contará con un 20% de energías renovables para reducir un 20% la emisión de dióxido de carbono, de allí que debemos estar preparados para ello. Nuestro potencial en biomasa es enorme y resulta sin duda una clave de nuestra economía (agricultura, ganadería y biocombustibles), los avances en energía eólica y solar son indicios que estamos entendiendo lo que sucede y nos estamos preparando, ahora nos falta dar un paso más y ser pioneros en la búsqueda de otras alternativas que resultan de potenciales indiscutidos tal como aquellas derivadas del mar.

Las ondas marinas son una fuente de energía inagotable y limpia es decir representa una excelente oportunidad para la generación de energía eléctrica en forma sustentable.

La ausencia de proyectos vinculados al aprovechamiento de la energía undimotriz nos brinda una excelente oportunidad para demostrar nuestra capacidad para la generación de una propuesta original e innovadora acorde a nuestra realidad. Para ello contamos con el apoyo de numerosos profesionales de las distintas especialidades como así también de las autoridades de nuestra facultad.

## REFERENCIAS

- Francisco Galia. (2011). Energía del Mar, congreso HyFUSEN. Mar del Plata, Argentina
- I. Mech. E.. (1991) Wave Energy paper. European Directory of Renewable Energy.
- Ing. Agrónomo. M. Jorge A. Hilbert. (2010). Biomasa. Maestría Energías Renovables UTN. Buenos Aires, Argentina.
- Pedro Ibáñez. (2005). Energía del Mar. Robotiker Tecnalia. Zamudio, España.
- Roberto Legaz, (2011). Asamblea de Energías Renovables, Energías Marinas. Santander, España.