



**II CAIM 2010**  
**Segundo Congreso Argentino**  
**de Ingeniería Mecánica**  
**San Juan - Noviembre 2010**

## **Aprovechamiento de la Energía Undimotriz**

Mario Pelissero, Alejandro Haim, María Paula Bouza, Francisco Galia, Martín Haim, Guillermo Oliveto, Leonardo Plaun, Ricardo Haim, Roberto Tula, Claudio Algeri, Raúl Paneta, Gustavo De Vita, Juan Manuel Hinojosa, Rodolfo Alessio, Omar Vitkauskas

**Departamento de Ingeniería Mecánica - Facultad Regional Buenos Aires**  
**Universidad Tecnológica Nacional**  
**Av. Medrano 951 – 3º piso – Of. 303 – C1179AAQ**  
**Ciudad Autónoma de Buenos Aires – Argentina**  
Tel/Fax: +54-011-4867-7574 - E-mail: [undimotriz@gmail.com](mailto:undimotriz@gmail.com)

### **RESUMEN**

Uno de los problemas del mundo, es el paulatino agotamiento de las fuentes tradicionales de energía, petróleo, gas y carbón. Estas fuentes resultan altamente contaminantes, es por ello que el aprovechamiento de fenómenos naturales como la energía solar, la fuerza del viento, los desniveles entre las mareas aparecen como opciones válidas para su reemplazo. Todas ellas son energías no contaminantes y renovables. En la Argentina, las fuentes renovables de energía constituyen el 5% de la matriz energética nacional.

La energía Undimotriz aparece como una alternativa consistente y se basa en el aprovechamiento de la energía que se transporta por medio de las ondas generadas por la acción del viento sobre la superficie marina.

Existe la tendencia que algunos países han asumido como desafío que es el desarrollo de tecnologías sustentables capaces de aprovechar este recurso. Es el caso de Gran Bretaña, Escocia, España, Israel, Brasil y Estados Unidos. Dadas las características de nuestro gran litoral marítimo, estamos en presencia de un gran potencial para aprovechar esta fuente de energía inagotable.

El objetivo de este proyecto es la investigación y desarrollo de dispositivos mecánicos capaces de transformar la energía undimotriz en energía eléctrica. Estos dispositivos se ensayarán con modelos a escala en un simulador de olas.

Con la mira en un futuro de aplicación concreta de estos dispositivos de captación de energía se constituyeron una serie de grupos de trabajo para comenzar a crear la ingeniería básica para la instalación y generación de energía eléctrica en poblaciones dispersas de las costas australes de nuestro país. Estos grupos están abocados al estudio de los siguientes temas: sistemas mecánicos, sistemas eléctricos, estructuras marinas, materiales, oceanografía, electrónica, energías alternativas y contaminación ambiental.

**Palabras Claves:** Energía, Renovable, Undimotriz, Sustentable, Alternativa.

## 1. INTRODUCCIÓN

Resulta a todas luces imprescindible la utilización de las energías renovables pues desde hace ya dos siglos se viene produciendo una vertiginosa utilización de los recursos energéticos no renovables; tanto el carbón, como el petróleo y el gas están siendo quemados en forma intensa a fin de satisfacer la urgente demanda mundial de energía.

Esta situación que podría resultar un signo positivo en aras del bienestar de la población mundial, es sin duda un dramático factor de cambio climatológico en nuestro único hogar planetario.

El continuo incremento en la atmósfera de los gases de efecto invernadero está produciendo acelerados cambios en el clima con nefastas consecuencias; el cambio más relevante lo representa la elevación de la temperatura mundial. Esto trae aparejado la disminución de los hielos tanto en los casquetes árticos como antárticos y la desaparición de los glaciares continentales. Por otro lado, se está experimentando el incremento en la frecuencia de sequías, huracanes e inundaciones aún en sitios donde no se registraban éstos fenómenos.

La disminución de las reservas mundiales de estos recursos energéticos hace peligrar su normal suministro además genera continuas situaciones de lucha armada para su dominio.

Es hora de pensar seriamente en plantear un cambio radical en el concepto de la utilización de estas fuentes energéticas y producir un vuelco hacia las tecnologías que utilicen energías sustentables. [1]

La utilización de las energías renovables permitirá un real mejoramiento de las condiciones de vida de la población ya que sus efectos sobre el medio ambiente son mínimos y su provisión es inagotable.

El modelo a seguir es el que se está llevando a cabo en Alemania, Reino Unido de la Gran Bretaña, Holanda, Dinamarca, España, Portugal, Israel, Corea y Japón donde resultan políticas de Estado tanto la investigación como el desarrollo de emprendimientos industriales para el aprovechamiento de las energías renovables.

### 1.2. Fuentes oceánicas de energías renovables

El mar ofrece una serie de posibilidades para generar electricidad; el aprovechamiento de las corrientes marinas, la amplitud de mareas, la diferencia de temperatura entre la superficie y el fondo oceánico, el calor generado por la dilución del agua de mar en el agua dulce de los ríos y la undimotriz.

Dentro de ellas, la energía mareomotriz se destaca por ser la tecnología más desarrollada y afianzada pues su aplicación comercial data de muchos años.

El aprovechamiento de la energía undimotriz se encuentra en fase experimental y tan solo algunos modelos están en fase de producción.

### 1.3. Energía de las olas y las ondas

El término undimotriz se puede aplicar al aprovechamiento de las olas en la franja costera y también las ondas marinas en las zonas medianamente cercanas o alejadas de la costa (middle shore y off shore respectivamente).

#### 1.4. Experiencia internacional en energía undimotriz

Tanto el Reino Unido de la Gran Bretaña como España y Portugal desde hace muchos años están desarrollando sistemas de captación de este tipo de energía.

En las islas británicas se están realizando numerosos ensayos; por ejemplo en Escocia, en Islay, se ha operado un equipo de 75 KW durante 11 años. La experiencia obtenida durante ese tiempo ha permitido su reemplazo por un equipo mucho mayor de 500 KW. [2]

Gran Bretaña ha invertido en proyectos de aprovechamiento de energía undimotriz 5 millones de libras esterlinas en los últimos 5 años y aprobó un proyecto de 42 millones de libras esterlinas.

Portugal y España están experimentando diversos dispositivos y ambos países están considerando la instalación de parques marítimos con equipos para la producción masiva de energía eléctrica.

Tanto los países nórdicos de Europa como Corea y Japón están creando dispositivos para capturar energía desde muelles e incluso en Japón se ha desarrollado un yate que utiliza la energía undimotriz para su desplazamiento e iluminación.

En Brasil se llevará a cabo un proyecto para captar la energía de las olas en su embate contra una escollera creada especialmente; este proyecto está siendo llevado a cabo por la Universidad Federal de Río de Janeiro en el Estado de Ceará.

El Departamento de Energía (DOE) de los Estados Unidos de Norteamérica ha fijado como política de estado una serie de metas para lograr el auto abastecimiento energético; en este sentido está trabajando fuertemente en el desarrollo de biocombustibles, la energía eólica y solar, como así también está analizando el tema undimotriz a partir del estudio de 8 propuestas tecnológicas y 5 lugares geográficos para su aplicación.

#### 1.5. Historia y estado del Proyecto

La idea fundacional del proyecto la presentó hace 3 años el actual Ing. Pablo Alejandro Haim que en ese momento era estudiante de la especialidad Ingeniería Mecánica y desde ese momento viene trabajando en el tema.

La divulgación en el ámbito académico como la formación de los primeros grupos de trabajo y su presentación como proyecto data del año 2009, es decir tan solo un año atrás.

Debido al carácter interdisciplinario que se le dio al proyecto a medida que avanzamos en el mismo se van incorporando grupos de trabajo que van desarrollando las temáticas específicas a su incumbencia.

En estos momentos hemos finalizado la etapa de diseño, cálculo, dimensionamiento y nos encontramos en la etapa de fabricación del prototipo en escala 1:20

En todos los grupos de trabajo seguimos en la búsqueda de información bibliográfica tal como el estudio de materiales para la construcción del dispositivo, corrosión, pinturas, construcciones oceánicas, oceanografía, cuestiones ambientales y al estudio de energías alternativas.

## 2. OBJETIVO

El objetivo es generar una tecnología técnicamente viable, económicamente factible y de bajo impacto ambiental capaz de transformar la energía undimotriz en energía eléctrica además de servir de modelo de estudio para el ámbito académico de un proyecto interdisciplinario que abarca la mayor parte de las carreras de nuestra facultad.

### 3. DESCRIPCIÓN

La energía undimotriz es un fenómeno que se manifiesta en la superficie del agua. Está basado en el aprovechamiento de la energía que se transporta por medio de las ondas generadas por la acción del viento sobre la superficie marina [3](Figura 1). Este movimiento ondular que observamos en el océano es la expresión de un fenómeno cíclico en forma de ondas, [3](Figura 2) y es aquí donde se adopta el término undimotriz para designar a esta energía renovable. Es por ello que es imperante describir la ola para designar el aprovechamiento energético de cada onda en un periodo [3](Figura 3)

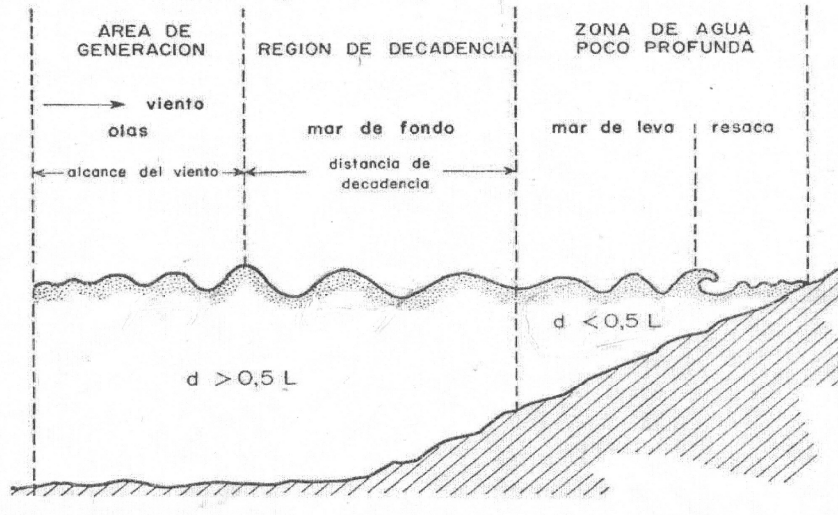


Figura 1 Formación de Ondas Marinas

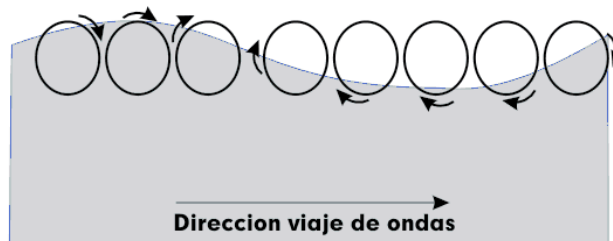


Figura 2 Movimiento circular definido por las ondas

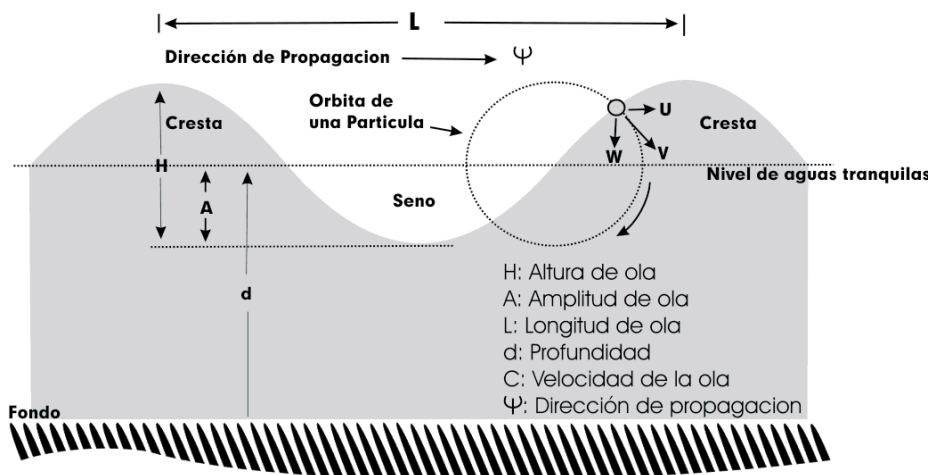


Figura 3 Parámetros analíticos que definen el aprovechamiento energético

### 3.1 Tipos de Ondas

#### 3.1.1 Según la profundidad relativa (Tabla 1)

Considerando:

d = profundidad

L = longitud de onda

Tabla 1 Tipos de Ondas según profundidad relativa.

Relación d/L	Tipo de Onda
> 0.5	Cortas
0.5 – 0.05	Intermedias
< 0.05	Largas

#### 3.2. Cálculo de Potencia

Se puede deducir la potencia o energía 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)
- ✓ ρ: densidad (kg/m<sup>3</sup>)
- ✓ g: aceleración de la gravedad (m/s<sup>2</sup>)
- ✓ A: amplitud de onda (metro)
- ✓ λ: 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)

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

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

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

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)

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

### 3.3. Características

En general se considera que la energía eólica y solar tienen como características adversas su falta de regularidad y continuidad. Sin embargo la energía undimotriz ofrece inmejorables condiciones para un aprovechamiento consistente y sostenido.

Esto se debe a las siguientes razones:

- El viento está presente en determinadas zonas de nuestra Patagonia casi todo el día a lo largo de todo el año; es decir que tanto por su regularidad como por su intensidad permiten prever un continuo suministro de energía. Por otro lado, de no registrarse acción del viento en la región de captación, se podrá verificar la presencia de ondas ya que las mismas son transportadas por el agua desde regiones lejanas. El caso extremo que ejemplifica este fenómeno son las olas gigantes (tsunami) que viajan miles de kilómetros muy lejos del lugar donde fueron originadas.
- El agua resulta un extraordinario vector de energía muy superior al viento debido a su elevada densidad energética.
- La costa patagónica presenta un escenario óptimo de trabajo debido a la abundancia del recurso viento además de la escasa profundidad del lecho marino aún a distancias considerables de las costas, esto facilitará la instalación de equipos y dispositivos.
- La energía posible de ser aprovechada es superior a las otras alternativas renovables de mayor difusión en la actualidad (eólica y solar) pues la densidad del agua es varias veces superior al aire; esto hace que su capacidad de almacenamiento de energía sea muy importante.

La energía aprovechada será función de la altura máxima de la onda formada. Por lo tanto, cuanto más agitada se encuentre la superficie mayor será la altura de la onda y por ende la energía que se pueda captar será mayor. Sin embargo, la experiencia internacional indica que aún no se han creado los dispositivos confiables que puedan obtener energía en condiciones climáticas extremas; por esta razón los proyectos en marcha se vuelcan a equipos de trabajo en condiciones medias de oscilación.

Debemos recordar que las energías renovables se caracterizan por su variabilidad e intermitencia pero en el caso de la energía undimotriz existe un consenso internacional de su consistencia basada en su elevada densidad energética y marcada persistencia anual que garantizan el funcionamiento de los equipos la mayor parte del año.

#### 3.3.1 Aprovechamiento del recurso

Los datos de la energía implícita por el fenómeno fueron recabados del Instituto de Ingenieros Mecánicos de la Gran Bretaña quienes elaboraron en un mapa global que cuantifica la energía undimotriz. Allí se puede apreciar que en nuestro litoral oceánico la potencia se encuentra entre los 30 y 100 KW por cada metro de ola. [4] (Figura 4)

Tomando como dato medio una potencia de 70 KW; considerando que el dispositivo pueda abarcar un metro de la ola y se pueda lograr un aprovechamiento del 75% estaríamos obteniendo una potencia cercana a los 50 KW por unidad productiva.

La UNESCO emitió recientemente un boletín donde informaba que la cantidad de energía undimotriz en el mundo es del orden de los 200 GW.

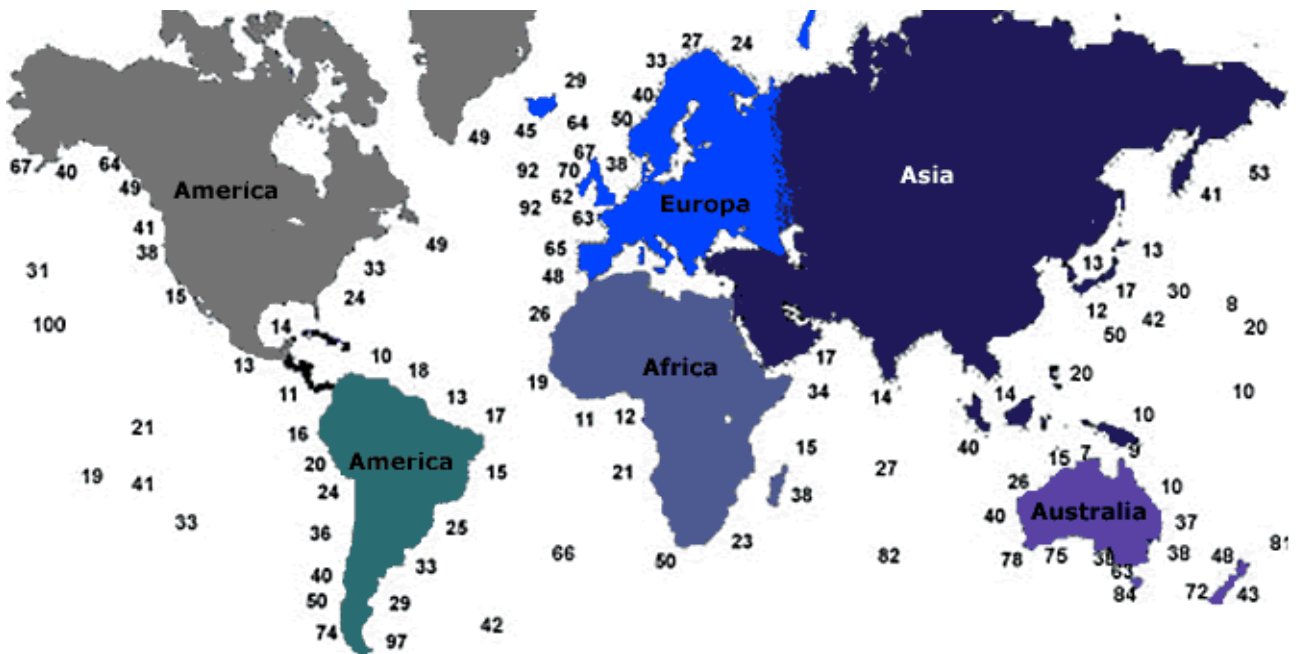


Figura 4 Energía promedio en las costas de los continentes expresadas en KW/metro de frente de ola

### 3.3.2 Mar Argentino

La región oceánica de nuestro país cuenta con una plataforma que a medida que avanza hacia el sur progresivamente se va ensanchando y aumentando su profundidad, hasta alcanzar los 200 metros de profundidad.

Una de las fortalezas de este proyecto la presencia constante del viento en nuestro mar austral y por otro lado destacar que el movimiento de la masa oceánica hacia la costa es amortiguado por la plataforma submarina, lo que produce un desplazamiento ordenado de las ondas marinas en forma paralela a la costa. Este amortiguamiento permite prever con bastante seguridad este movimiento y evita la formación de ondas y de olas de tamaños importantes.

La altura de las olas se hace relevante en la región sur y sudeste de la isla grande de Tierra del Fuego donde se pueden encontrar olas que van desde 1,75 a 2 metros.

Al sur de Puerto Deseado las olas alcanzan valores que van de los 1,50 a 1,75 metros.

En Bahía Blanca, Golfo de San Matías, Golfo de San Jorge y sur del Puerto de San Julián los valores resultan entre 1 a 1,25 metros mientras que en la costa bonaerense la altura promedio anual es de 1,2 metros.

## 4. DESARROLLO

El escenario más habitual responde a una constante variabilidad en la dirección de las ondas; lo que nos impide el aprovechamiento del recurso al colocar simplemente una rueda que gire. Esta cuestión es bien conocida por los especialistas en energía eólica pues ellos también ven afectados sus equipos por violentos cambios en la dirección del viento. En pocos lugares podemos disponer de ondas marinas de dirección,

frecuencia y amplitud precisa. Cada lugar tiene alguna característica que lo distingue; esta es la razón por la cual existen una cantidad tan diversa de diseños en el mundo.

#### **4.1. Diseño del dispositivo**

El desafío que presenta el diseño de un dispositivo es que se adapte a las condiciones de cada ámbito marino.

El diseño del dispositivo que se propone por parte del grupo de investigación undimotriz, 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 medio del brazo de palanca al sistema electromecánico donde se genera la corriente eléctrica.

Los aspectos de estanqueidad del dispositivo y durabilidad de los materiales son aspectos de especial cuidado en un ambiente de trabajo donde las exigencias mecánicas son extremas y los efectos de la corrosión son devastadores.

#### **4.2. Ubicación de los dispositivos**

Este proyecto fue pensado para la creación de “parques modulares de energía undimotriz” donde, en principio, se buscaría satisfacer los requerimientos específicos de una comunidad alejada del sistema interconectado nacional de provisión de energía eléctrica.

Los parques de energía estarían ubicados a distancias medias o lejanas de la costa y el traslado de la energía se realizaría mediante un cableado submarino hasta la costa donde se ubicaría la estación de transformación y distribución de la corriente eléctrica.

A los efectos de minimizar el impacto ambiental, ambos aspectos fueron especialmente considerados pues existe en los integrantes de este proyecto un acentuado cuidado del ambiente.

El planteo para el diseño del prototipo experimental se realizó proponiendo a la costa de la Ciudad de Mar del Plata como escenario, es allí donde el promedio de olas es de 1,2 metros y además tenemos un campo de trabajo con una profundidad de va de los 5 a 10 metros.

Este sitio resulta conveniente por la proximidad a la ciudad de Buenos Aires y la logística que puede brindar tanto la Universidad Nacional de Mar del Plata como la delegación de la Universidad Tecnológica Nacional. 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 las condiciones son muy ventajosas

#### **4.3. Planteo ambiental**

La energía generada a partir de este dispositivo debe ser catalogada como “energía limpia”; esta definición se basa en que no se produce ningún vertido al medio ambiente, únicamente se aplica la transformación de la energía Undimotriz en energía eléctrica mediante un dispositivo mecánico.

No se generan productos residuales ni se emite dióxido de carbono.

Desde el inicio se convino que la realización del proyecto tomaría en cuenta las leyes y regulaciones inherentes al cuidado del ambiente.

La instalación de los dispositivos se realizaría en lugares específicos que se denominarán “parques modulares de energía undimotriz”.

En este escenario, la disposición de los dispositivos tendría carácter de semi sumergidos a una distancia media o lejana de la costa y, además, el cableado sería subterráneo.

Las unidades de transformación de la energía eléctrica se situarían en forma discreta en la costa; lo que nos llevan a pensar que el proyecto tendrá un bajo impacto visual.

El impacto de esta propuesta resulta muy baja si la comparamos con la masiva utilización de los aerogeneradores eólicos situados en áreas off shore de Holanda y Dinamarca. [5](Figura 5)



Figura 5 Comparación del Impacto Visual

Tanto los materiales de construcción como las pinturas y los productos lubricantes deberán pasar por los controles de calidad que certifiquen su biodegradabilidad y su bajo impacto en el medio en casos de derrames o exposición prolongada.

Como estos parques modulares de energía ocuparán un espacio en el suelo marítimo; que tan solo serían una serie de columnas, se realizarán estudios *en cada lugar para determinar qué efecto tendrán para la actividad turística y, si hubiera, para la pesca comercial*. Se considerarán los aspectos vinculados a la posible modificación del régimen de flujo de las corrientes marinas para evitar cambios en la morfología de las costas o generar cambios significativos en la flora y la fauna marina.

## 5 CONCLUSIONES

La ausencia de proyectos vinculados al desarrollo 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.

Las críticas respecto de la falta de continuidad y variabilidad de las energías renovables se tornan insignificantes para el caso de la energía undimotriz; pues está demostrado por inequívocos estudios que su intensidad y persistencia es una constante durante todo el año.

## 6 REFERENCIAS

[1] Energía alternativa para pequeños agricultores. [en línea]. Disponible en:  
<http://www.inta.gov.ar/actual/vernota.asp?id=255> [consulta 2010, 08,25]

[2] Energía. [en línea]. Disponible en: <https://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/8326/3/02.pdf>  
[consulta 2010, 08,25]

[3] F. Galia, Energía Undimotriz, *Mi Club Tecnológico*, Número 238, Año 2010.

[4] Energía de las olas. [en línea]. Disponible en:  
<https://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/8326/3/02.pdf> [consulta 2010, 08,25]

[5] Energía Marina. [en línea]. Disponible en:  
[http://www.eve.es/jornadas/ponencias\\_jornadamarina/lberdrola.pdf](http://www.eve.es/jornadas/ponencias_jornadamarina/lberdrola.pdf) [consulta 2010,08,25]

## Agradecimientos

Los autores de este trabajo desean agradecer a las autoridades del Departamento de Ingeniería Mecánica y al Ing. Sebastián Brie, secretario de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva de la UTN FRBA quienes, brindan su apoyo constante para el continuo crecimiento de este proyecto.

Además queremos hacer mención al Dr. Walter Legnani, Director de Ciencia y Tecnología del Rectorado de la UTN quien con su aliento y consejos permitió la concreción formal de este grupo de investigación.

## Integrantes del proyecto

Este proyecto es de carácter multidisciplinario y se está desarrollando sobre la base de un conjunto de profesionales de distintas especialidades principalmente de la Facultad Regional Buenos Aires de la Universidad Tecnológica Nacional.

La estructura organizacional consta de un director acompañado por un conjunto que oficia de coordinación de las actividades de los distintos grupos.

- Dirección: Ing. Mario A. Pelissero (Esp. Química)
- Coordinación: Ing. Pablo A. Haim (Esp. Mecánica) y María Paula Bouza (Estudiante Esp. Química)

En esta etapa inicial del proyecto se constituyeron los siguientes grupos de trabajo:

- Sistemas Mecánicos: Ing. Rodolfo Alessio, Ing. Leonardo Plaun, Ing. Pablo A. Haim, Ing. Omar Vitkauskas, Prof. Roberto Tula (Esp. Mecánica)
- Construcciones Marítimas: Ing. Martín Haim y Juan M. Hinojosa (Esp. Civil)
- Sistemas Eléctricos: Ing. Claudio Algieri (Esp. Electromecánica) y Prof. Gustavo de Vita (Est. Esp. Eléctrica)
- Equipamientos electrónicos: Ing. Ricardo Haim y Ing. Raúl Paneta (Esp. Electrónica)
- Materiales: Ing. Mario A. Pelissero y María Paula Bouza (Esp. Química)
- Energías renovables y medio ambiente: Ing. Mario A. Pelissero (Esp. Química), Ing. Pablo A. Haim y Prof. Roberto Tula (ambos Esp. Mecánica)
- Estudios oceanográficos: Lic. Francisco Galia (Esp. Sistemas Operativos), Ing. Guillermo Oliveto (Esp. Industrial), Ing. Pablo A. Haim (Esp. Mecánica) y María Paula Bouza (Estudiante Esp. Química)

-- 2010 --