# ENERGÍA OCÉANO TERMAL ("OTEC")

# ENERGIA RENOVABLE PARA PUERTO RICO Y EL MUNDO

**Comisión de Asuntos Municipales**
**Cámara de Representantes de Puerto Rico**

**11 de diciembre de 2009**

**Ing. Manuel A. J. Laboy**
***Vicepresidente***
**Offshore Infrastructure Associates, Inc.**

# Objetivos de la Presentación

- Presentar la tecnología de energía océano termal (OTEC)
  - Película sobre OTEC
  - Introducción
  - Trasfondo histórico
  - Situación actual
- Presentar iniciativas de Offshore Infrastructure Associates
  - Quienes somos
  - Proyectos e iniciativas en desarrollo
- Asuntos ambientales
- Ideas de implementación y el futuro de OTEC
- Conclusión
- Preguntas y respuestas

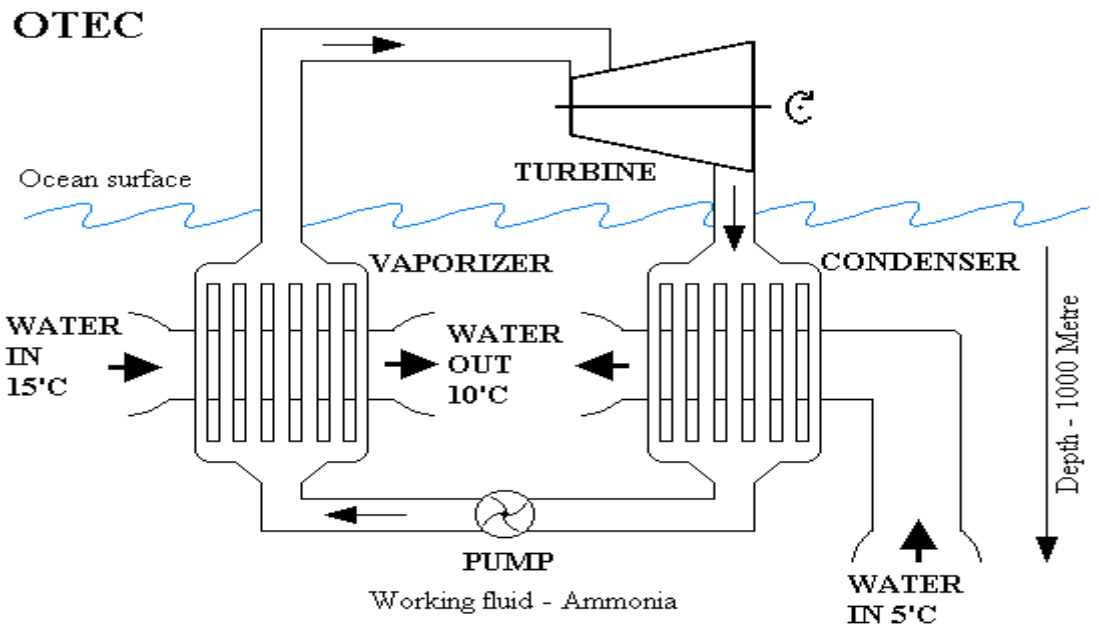
**Nota: Esta presentación es parte del programa de educación y alcance a la comunidad de la empresa. Por los pasados 2 años la empresa ha llevado a cabo múltiples presentaciones en varias universidades de Puerto Rico y en distintos foros profesionales, grupos comunitarios y entidades a favor de la conservación de los recursos naturales y el medio ambiente.**

# ¿Qué es la Energía Océano Termal (OTEC)?

- Es la utilización del calor almacenado en el mar para generar electricidad.
- Trabaja en áreas donde la diferencia en temperatura entre el agua caliente de la superficie del mar y el agua fría profunda es aproximadamente 20°C (36°F), en un ambiente lo suficientemente estable que permita una operación eficiente del sistema. En efecto, OTEC recupera parte de la energía solar recibida en los océanos.
- Principalmente aplica en áreas tropicales con agua de mar profunda.
- OTEC permite la producción de electricidad de fuentes locales a un costo fijo y de manera continua. Una variante del diseño permite la co-producción de agua desalinizada a una razón de aproximadamente 0.5 MGD/MWe.
- Tiene un impacto ambiental menor que otras fuentes de energía (renovables y no renovables).

# Descripción Esquemática de OTEC

**Ejemplo Mostrado: Ciclo Cerrado**



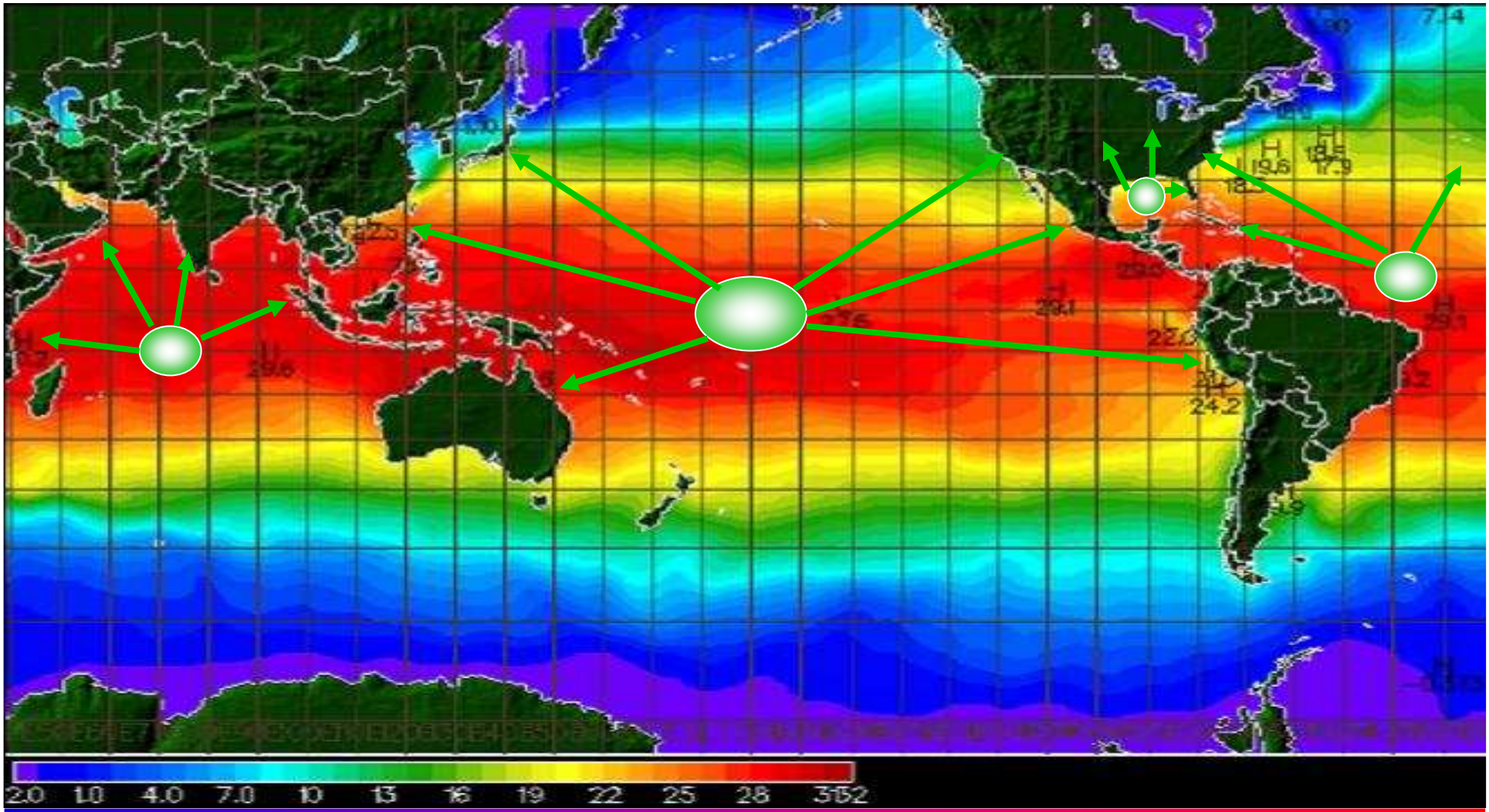

**La diferencia en temperatura entre la superficie caliente del mar y el agua fría profunda es utilizada para evaporar un fluido termal, que a su vez mueve una turbina, generando electricidad. Variaciones en el proceso permiten la co-producción de agua potable por desalinización.**

# Comparación entre OTEC y otras tecnologías de energía renovable

- OTEC
  - Genera continuamente (disponibilidad real >90%)
  - Puede generar agua
  - No hay combustión ni emisiones de contaminantes
  - Área requerida es mínima, aún en casos de plantas en tierra
- Viento
  - Solo genera cuando hay viento (disp. 30-40%)
- Solar
  - Solo genera durante el día (disp. 45% máximo)
- Biocombustibles
  - Generan emisiones de contaminantes
  - Compiten con producción de alimentos

# ¿En donde funciona OTEC?

## En regiones tropicales y sub-tropicales de todo el planeta



# El mejor lugar para OTEC en el mundo: Puerto Rico

- **Agua profunda bien cercana a la costa**
- **Alto consumo de energía eléctrica**
- **Alto nivel educacional**
- **Sistema político y económico estable**
- **Sistema contributivo favorable**
- **Puede servir de base para exportar productos y servicios de OTEC a otros lugares**

# Lugar Ideal para Plantas Iniciales de OTEC

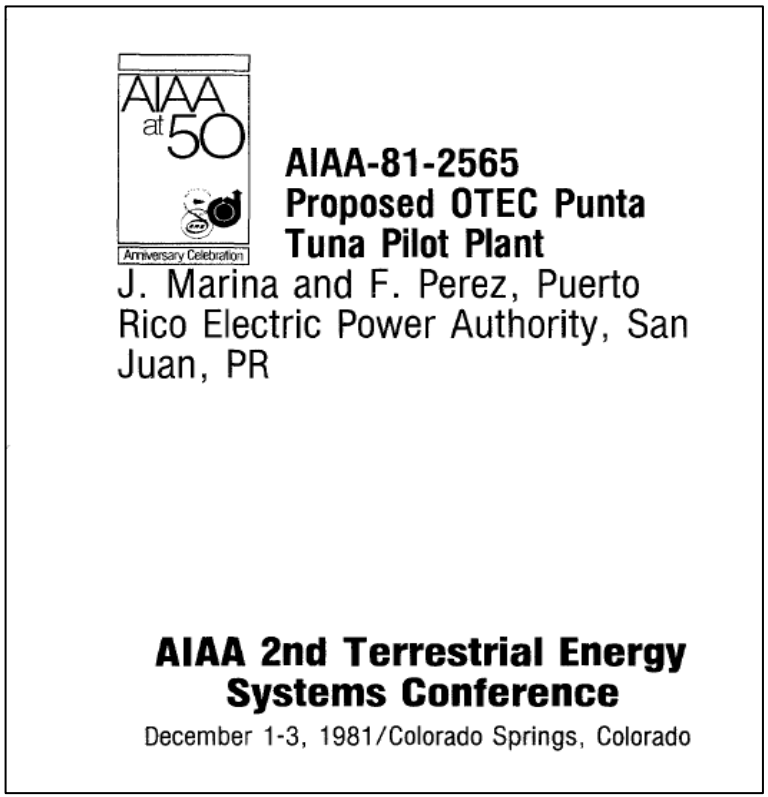
# Trasfondo Histórico

- Idea original fue concebida por Julio Verne en el libro *20,000 Leguas de Viaje Submarino*, publicado en el 1869.
- El físico francés Jacques D'Arsonval presentó formalmente la idea en Francia en los años 1880's.
- Su discípulo, el Dr. Georges Claude, quien inventó la lámpara de neón, construyó la primera planta de OTEC en Cuba en el 1930. La planta generó aproximadamente 22 kW.
- El gobierno francés mantuvo interés en OTEC durante las década del 1940 y 1950, cuando intentaron construir una planta en la Costa de Marfil en África. El proyecto no se completó por ser muy costoso.
- Durante la década del 1950 el Laboratorio de Conversión de Agua de Mar en la Universidad de California obtuvo fondos gubernamentales para investigación en OTEC. Se propuso una planta de ciclo abierto para desalinizar agua pero no recibió apoyo por parte del gobierno de EEUU.

# Crisis Energética Década 1970

- Debido al embargo árabe, los precios del petróleo subieron dramáticamente, ocasionando una recesión mundial.
- El Presidente Carter reclamó independencia energética para los EEUU.
- El gobierno federal proveyó fondos para investigación y desarrollo.
- Una cantidad significativa de trabajo fue completado por entidades y empresas tales como Lockheed, la Universidad John Hopkins, el Laboratorio Nacional de Argonne y la Universidad de Puerto Rico, Recinto de Mayagüez.
- Propuestas para demostración de la tecnología fueron solicitadas por el Departamento de Energía federal.
- La Autoridad de Energía Eléctrica de Puerto Rico fue uno de los proponentes y completaron múltiples estudios detallados sobre la viabilidad de OTEC.
- Todos los esfuerzos se concentraron en fondos federales.

# Una de las propuestas de la AEE para el Departamento de Energía



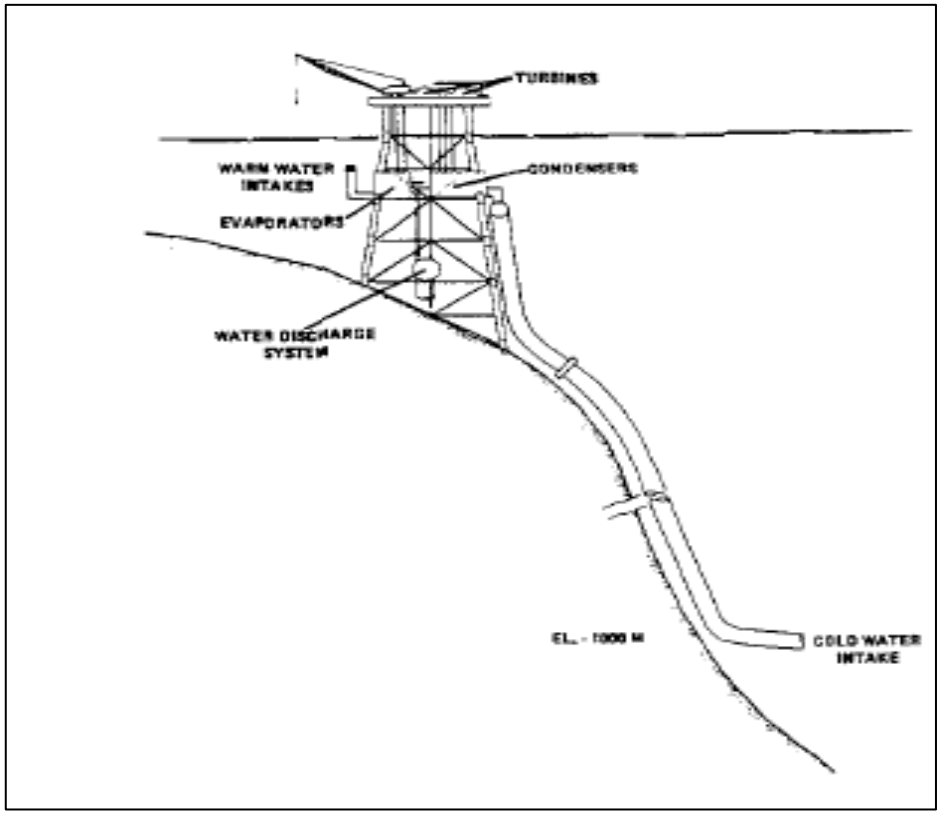
AIAA-81-2565
**Proposed OTEC Punta Tuna Pilot Plant**

J. Marina and F. Perez, Puerto Rico Electric Power Authority, San Juan, PR

**AIAA 2nd Terrestrial Energy Systems Conference**
December 1-3, 1981/Colorado Springs, Colorado

Nunca recibió fondos por parte del US DOE

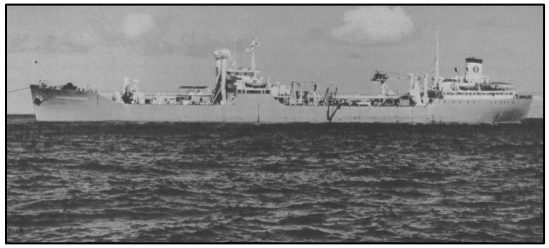
# Planta de 40 MW propuesta por la AEE en el 1979-80




**Si la AEE hubiese procedido con el programa de OTEC, la economía de Puerto Rico estaría en mucho mejor estado que en el presente.**

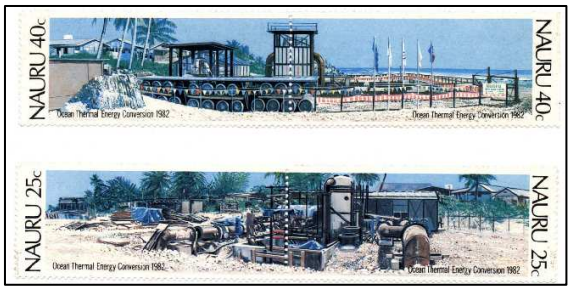
# Demostración Técnica de OTEC

Mini-OTEC (1979)



OTEC-1 (1980)

Ciclo Cerrado 1 MW
(India/Japón 1990's)




Nauru (1981)

Aparato de prueba
de NH3 (1999)

Hawaii (1993-99)

# ¿Qué pasó?
# ¿Por qué OTEC no es utilizado hoy?

- El costo del petróleo bajó a $10 el barril en los 1990's.
- La administración Reagan favoreció la energía nuclear.
- Todos los esfuerzos dependían de fondos federales.
- Los gobiernos de EE.UU. y otros países detuvieron la mayoría de los fondos para investigación y desarrollo de OTEC en los 1990's.
- El cambio climático (o calentamiento global) no fue una preocupación mayor hasta mucho después.

# ¿Por qué ahora?

- El precio del petróleo ha subido extraordinariamente ($148 el barril a mediados del 2008).
- Existe preocupación sobre la estabilidad en la oferta de petróleo y si la producción ha alcanzado su punto mas alto.
- Un aumento en el precio del petróleo ocasiona un aumento en precio de otros combustibles fósiles (Gas Natural, Carbón, etc.).
- Preocupación seria sobre el cambio climático (calentamiento global).
- Nexo Agua-Energía.
- Posible impuesto a emisiones de carbono ("carbon tax") o créditos de energía limpia a nivel mundial.
- En Puerto Rico, existe una dependencia total de fuentes de energía importadas de combustible fósil, resultando en efectos adversos a la economía y a la sociedad.
- La economía de Puerto Rico es vulnerable a factores externos.

## Dos ejemplos recientes que demuestran la vulnerabilidad de Puerto Rico a eventos externos:

**<u>Incidentes frecuentes</u> entre Colombia, Ecuador y Venezuela pueden ocasionar una guerra regional, involucrando dos proveedores de energía. <u>¿Será una buena idea instalar un cable eléctrico entre Puerto Rico y Colombia?</u>**

El 9 de agosto de 2008, aviones rusos bombardearon cerca del oleoducto Bakú-Tiflis-Ceyhan (BTC) que transporta petróleo desde Asia hasta el Mar Mediterráneo. **<u>Si el oleoducto es destruido o afectado, el precio del petróleo aumentaría dramáticamente.</u>**

# Aspectos Ambientales de OTEC

- No requiere/no quema combustible.
- No emite contaminantes convencionales del aire.
- Emisión mínima de CO2 en comparación con otras fuentes de energía, particularmente de combustibles fósiles.
- No genera desperdicios sólidos.
- La descarga es esencialmente similar al cuerpo de agua receptor.
- Puede producir concurrentemente agua potable, si se desea.
- El público es altamente receptivo a la idea, una vez los principios básicos se explican.

# Aspectos Ambientales de OTEC (cont.)

- Sistema del fluido termal (ej. amoniaco) es altamente regulado por OSHA y EPA; sobre 100 años de experiencia; utilizado hoy día a nivel comercial e industrial.
- Posible efecto de biocida para los intercambiadores de calor es controlado.
- Efecto de surgencia ("upwelling") - cuando se lleva agua profunda rica en nutrientes a la superficie – se elimina/minimiza descargando el agua a una profundidad adecuada para evitar impacto al medio ambiente.
- Posibilidad de organismos entrando por tuberías de agua: instalación de sistema que evita esta situación (pantallas, mallas, etc.)

# Asuntos Ambientales de OTEC (cont.)

- Primera planta incluye  plan de monitoreo ambiental durante la operación; el plan es incluir a la Universidad de PR en este proceso.
- El proyecto requiere pasar por el proceso completo de permisos y endosos de los gobiernos de PR y EEUU.
- El objetivo de OIA es envolver a la región (comunidades, grupos de interés, municipios, etc.) desde el comienzo del proyecto.

# Offshore Infrastructure Associates, Inc. (OIA)

- Empresa fundada en el 2005 con el objetivo de comercializar OTEC y aplicaciones de agua profunda de mar ("Deep Ocean Water" o DOW).
- Incorporada en Puerto Rico.
- El fundador de la empresa conocía sobre las posibilidades de OTEC y las aplicaciones de DOW desde la década del 1970 cuando construyó una planta química en el sector Guardarraya de Patillas.
- OIA está enfocada en construir las primeras plantas comerciales de OTEC en el mundo.
- El objetivo a largo plazo de OIA es convertirse en un proveedor principal de tecnología y servicios de OTEC y áreas afines, utilizando a Puerto Rico como base de exportación.

# La Estrategia de OIA

- Basada en sobre $500 millones en investigación y desarrollo por el gobierno y la industria por los pasados 30 años.
- Utilizar equipos "state-of-the-art", comercialmente disponibles en otras aplicaciones sin la necesidad de "reinventar la rueda".
- Costo total (capital + operación & mantenimiento) es competitivo con el barril de petróleo a $65 ($70-80 promedio últimos 6 meses).
- Costo operacional es ~ $0.025 por kWh.
- Se anticipa una reducción sustancial del costo capital en subsiguientes plantas.

# Principios de Negocio de OIA

- Construir plantas comerciales de OTEC utilizando fondos privados.
- El cliente (AEE, AAA, etc.) solo tiene que pagar la electricidad generada por la planta. Si la planta no genera electricidad, el cliente no paga.
- Costo de electricidad es estable por la duración del contrato sin sorpresas de volatilidad.
- Aprovechar las características únicas de Puerto Rico para atender los mercados globales y las fuentes de financiamiento.

# Propuesta de OIA a la AEE

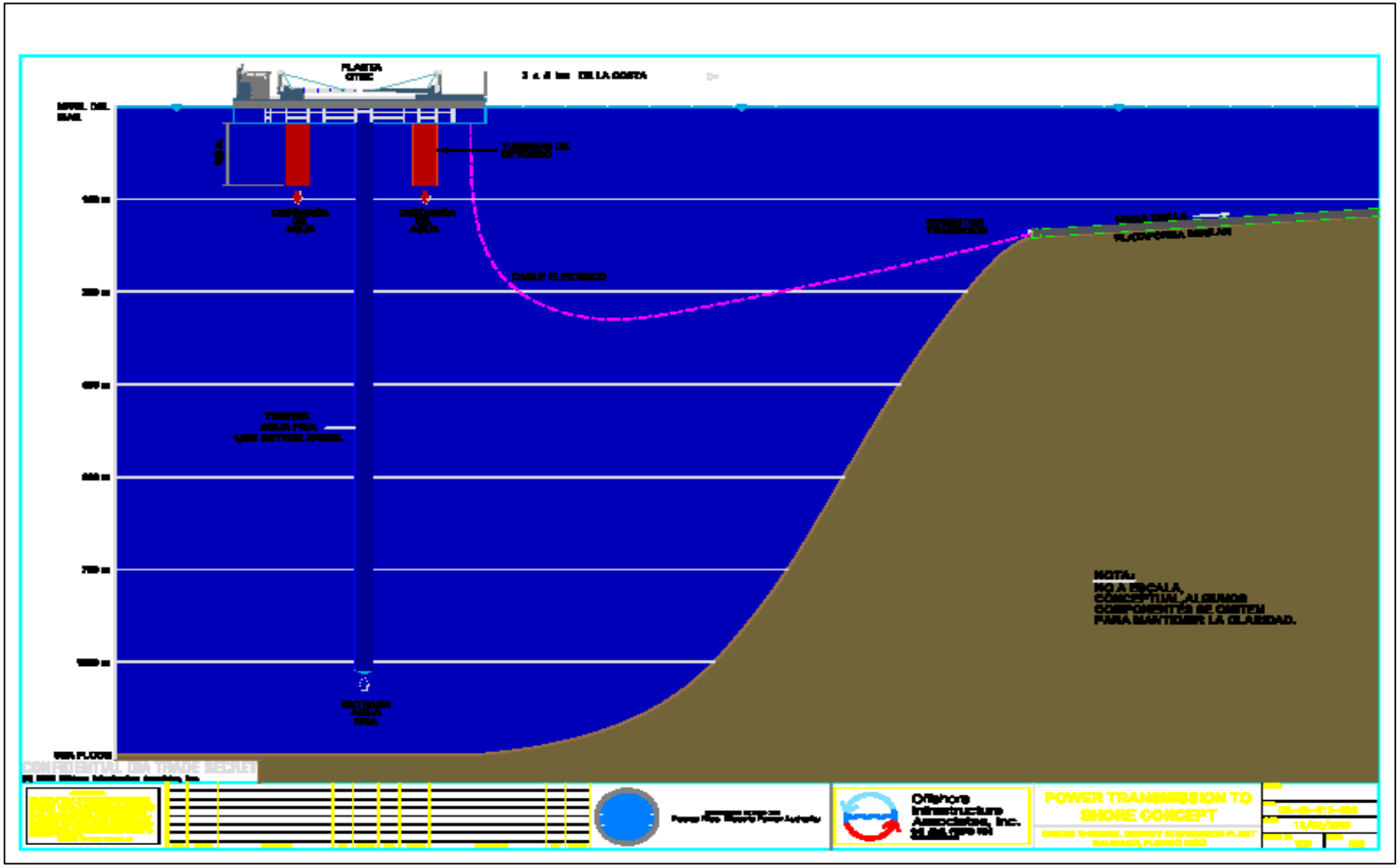
- Planta eléctrica de 75 MW plataforma flotante, diseñada para resistir huracanes, terremotos y tsunamis.
- Generación de carga continua con un factor de producción mayor de 90% (24 horas/día, 7 días/semana).
- La primera planta estaría localizada en algún punto entre Patillas, Maunabo y Yabucoa.
- La energía eléctrica se transmite a la AEE a través de un cable submarino conectado a la red de la Autoridad.
- Financiamiento a través de fondos privados. No se requiere dinero por parte de AEE o el gobierno central.
- La energía eléctrica se vendería a la AEE bajo un contrato a largo plazo de compra-venta de energía.

# Beneficios de la Propuesta de OIA a la AEE

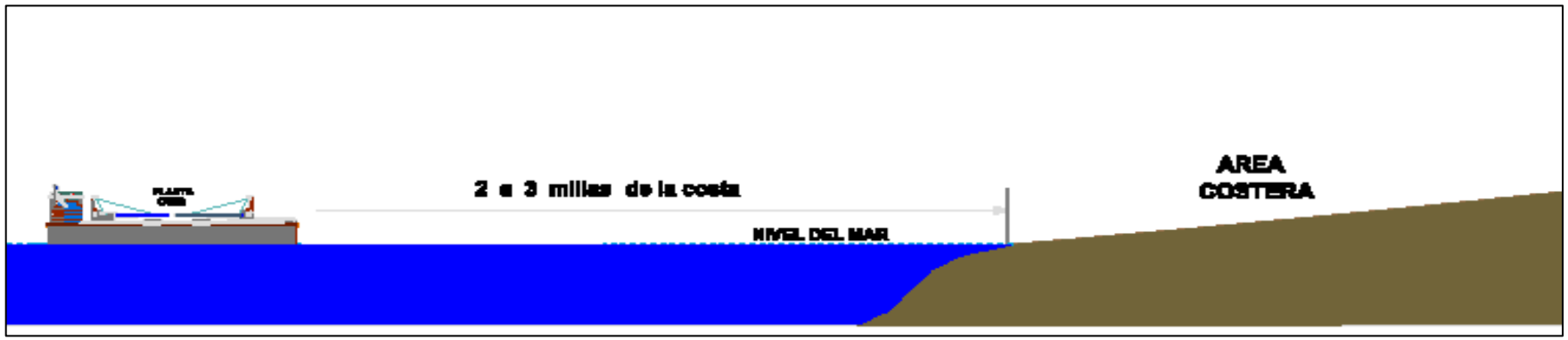
- Comenzar el camino hacia la eventual **independencia energética de Puerto Rico.**
- Se demuestra que tanto el gobierno como la AEE están tomando acciones reales y serias para acabar con la vulnerabilidad de Puerto Rico a las alzas del precio del petróleo.
- Se dejan de comprar/consumir cerca de 1,000,000 de barriles de petróleo al año.
- La construcción de la planta sirve como estímulo económico.
- Es una acción a favor del ambiente: **OTEC es una fuente de energía completamente limpia y renovable.**
- AEE y Puerto Rico se convierten en el líder mundial de OTEC.
- Representa un riesgo mínimo a la AEE y al Gobierno de Puerto Rico.

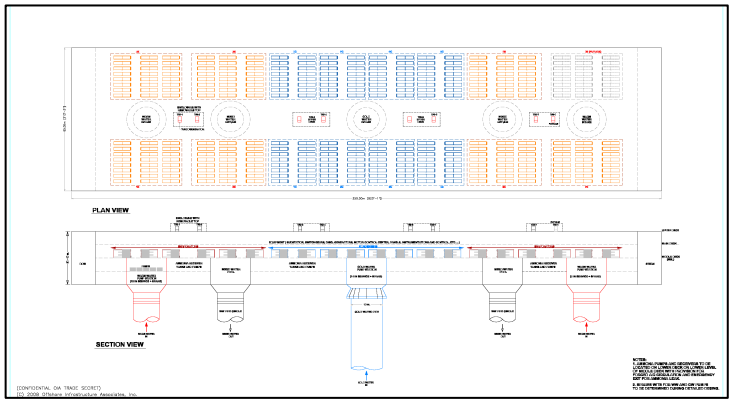
# Propuesta para la primera planta comercial de OTEC

# Concepto propuesto para la AEE



# Conceptos de la plataforma para la propuesta de la AEE



CIENCIA

6

EL NUEVO DÍA

EDITOR : MARIO ALEGRE BARRIOS : malegre@elnuevodia.com

24 DE JUNIO DE 2

# En la mira la costa de Maunabo

## Sus aguas albergan una potencial fuente inagotable de electricidad

POR RUT N. TELLADO DOMENECH
rtellado@elnuevodia.com

**CON EL** constante alza de precio de los combustibles fósiles, surge la urgencia de buscar otras opciones para producir energía. Una de ellas está en el mar.

La conversión de energía termal oceánica (OTEC, por sus siglas en inglés) aprovecha la diferencia de temperatura del agua de la superficie del mar que recibe el calor del sol, y el agua fría de las profundidades.

Esa diferencia debe ser de por lo menos 36 grados Fahrenheit para que se pueda generar electricidad, explicó Juan Alicea Flores, asesor en materia de energía del presidente del Colegio de Ingenieros y Agrimensores de Puerto Rico, Antonio Medina Delgado.

¿Cómo funciona? En una plataforma ubicada en el océano, se utiliza un fluido (amoniaco o freón) que se evapora a una temperatura relativamente baja. El agua de la superficie calienta el fluido hasta convertirlo en un gas que mueve una turbina conectada a un generador para producir electricidad.

Luego, el gas pasaría a un condensador, donde el agua fría del fondo marino lo convertiría en líquido. El fluido sería bombeado de vuelta a su punto de origen para utilizarlo de nuevo. Mientras, un cable submarino lleva la electricidad a tierra firme.

Para que se pueda utilizar la OTEC, la plataforma debe ubicar en una zona tropical donde existan grandes profundidades. "Puerto Rico, además de estar en el trópico, tiene un área, a dos millas de Maunabo, donde hay más de 3,000 pies de profundidad", explicó Alicea Flores. "Eso hace de esta zona el sitio perfecto para el desarrollo de esta tecnología".

El ingeniero, quien también es director de Planificación y Protección Ambiental de la Autoridad de Energía Eléctrica, confirmó que la corporación pública está en proceso de desarrollar un proyecto de este tipo en el área maunabeña conocida como Punta Tuna.

De lograrse el acuerdo con la empresa proponente -cuyo nombre no fue revelado-, la instalación estaría lista para el 2013. Alicea Flores estimó que la planta produciría 75 megavatios por hora, lo suficiente como para brindar electricidad a más de 100,000 familias.

**POSIBLES RIESGOS**

A juicio del ingeniero, una de las ventajas de la energía termal oceánica es que "está ahí 24 horas al día, siete días a la semana, 365 días al año", a diferencia de la energía solar y la eólica, que dependen de que haya sol o viento.

Otro punto a favor de la OTEC es que el impacto al ambiente sería mínimo, afirmó Alicea Flores. Con él coincidió el oceanógrafo físico Jorge Capellas, quien desde la década de los años 70 ha trabajado en intentos previos de introducir esta tecnología a Puerto Rico. "La planta no generaría humo ni utilizaría combustibles fósiles", dijo.

Añadió que, hace 30 años, el riesgo era que el agua del fondo creara nubes de plancton y regara otros nutrientes una vez se utilizara y regresara al mar.

Sin embargo, indicó que diseños más modernos han resuelto el problema utilizando esta agua fría para refrigeración y acuicultura. En Hawai, donde hay una planta experimental de OTEC, el líquido se utiliza tanto en el aire acondicionado como para cultivar algas.

Aunque destacó que otro posible riesgo es el de un derrame de amoniaco o freón, no pudo precisar cómo un evento de este tipo impactaría el ecosistema.

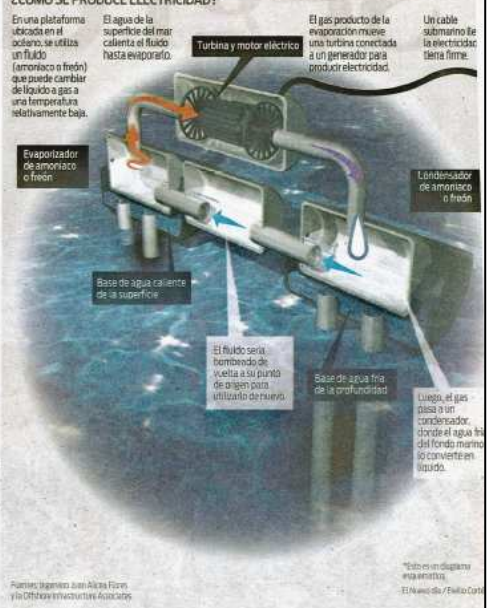
Capellas no dudó en afirmar que las ventajas de la energía termal oceánica superan las desventajas y que "nos resolvería gran parte de nuestra crisis energética en Puerto Rico".

## La corriente del mar

### ¿QUÉ ES LA CONVERSIÓN DE ENERGÍA TERMAL OCEÁNICA?

Ésta aprovecha la diferencia de temperatura del agua de la superficie del mar, que recibe el calor del sol, y el agua fría de las profundidades. Esa diferencia debe ser de por lo menos 36 grados Fahrenheit para que sirva para generar electricidad.

### ¿CÓMO SE PRODUCE ELECTRICIDAD?




Fuentes: Ingeniero Juan Alicea Flores y Ocean Offshore Infrastructure Associates

*Este es un diagrama esquemático.

El Nuevo Día / Eneliz Cortés

## Sabías que... Ciencia

el nuevo día EDUCADOR

AIACiMa
http://www.aiacima.org

Al derretirse un hielo flotando en agua, el nivel original del agua no cambia. ¿Por qué entonces nos preocupamos de que se derrita el hielo de los polos de la Tierra? Porque no todo el hielo de los polos está flotando sino que está apoyado del fondo del mar. Si se llena un vaso de agua con hielo y se continúa añadiendo hielos hasta que estos estén apoyados del fondo del vaso (y no flotando), al derretirse el agua se desbordará. ¡Pruébelo!

**Renewed projections**

But the biggest story to come out of this special coverage is the diversification towards renewable sources of energy. The agency now expects renewable energy to supply more than 30% of total electricity consumed in Puerto Rico within the next several years, said Alicea. As recently as last year, in several stories published by this newspaper and in official government presentations, Prepa executives spoke of a 2% share of total supply by renewable energy in 2015, with oil, gas and carbon projected to split the rest nearly evenly—33% oil, 33% gas and 32% carbon.

But the dramatic hike in oil prices, coupled with sharp rises in the cost of gas and carbon, forced Prepa back to the drawing board, along with equally dramatic developments in finance and innovation that have made renewable sources less expensive and more accessible.

"The only realistic way to reduce Puerto Rico's electricity costs is through a combination of conservation and diversification, including fossil fuels and renewable sources."
—Jorge Rodríguez
Prepa executive director

It remains unclear what the impact is likely to be in the cost of electricity on the island, but Prepa executives expect the diversification away from oil and toward gas, carbon and renewable sources to favor consumers and businesses.

"The only realistic way to reduce Puerto Rico's electricity cost is through a combination of energy conservation and fuel diversification, including clean fossil-fuel technology and renewable sources," confirmed Prepa Executive Director Jorge Rodríguez.

"In our case [Prepa], we will use natural gas, clean coal technology, low-sulfur oil, wind, biomass, waste-to-energy, ocean thermal, landfill gas, solar power and other sources as our portfolio for power generation."

Currently, there are six major renewable energy projects either underway or under advanced evaluation. Once completed, the combined generation of 2,000 megawatts (MW) will supply roughly one third of Prepa's current power capacity.

"We are very excited about Prepa's new energy diversification," said Fortaleza Chief of Staff Jorge Silva Puras. "We already have two wind-energy farms under development, and a third mega-wind project is in the pipeline that could generate an additional 1,000 MW. Prepa is rescuing the OTEC (ocean thermal energy conversion) technology initiative considered more than 20 years ago, with a project to be located in the southeastern part of the island."

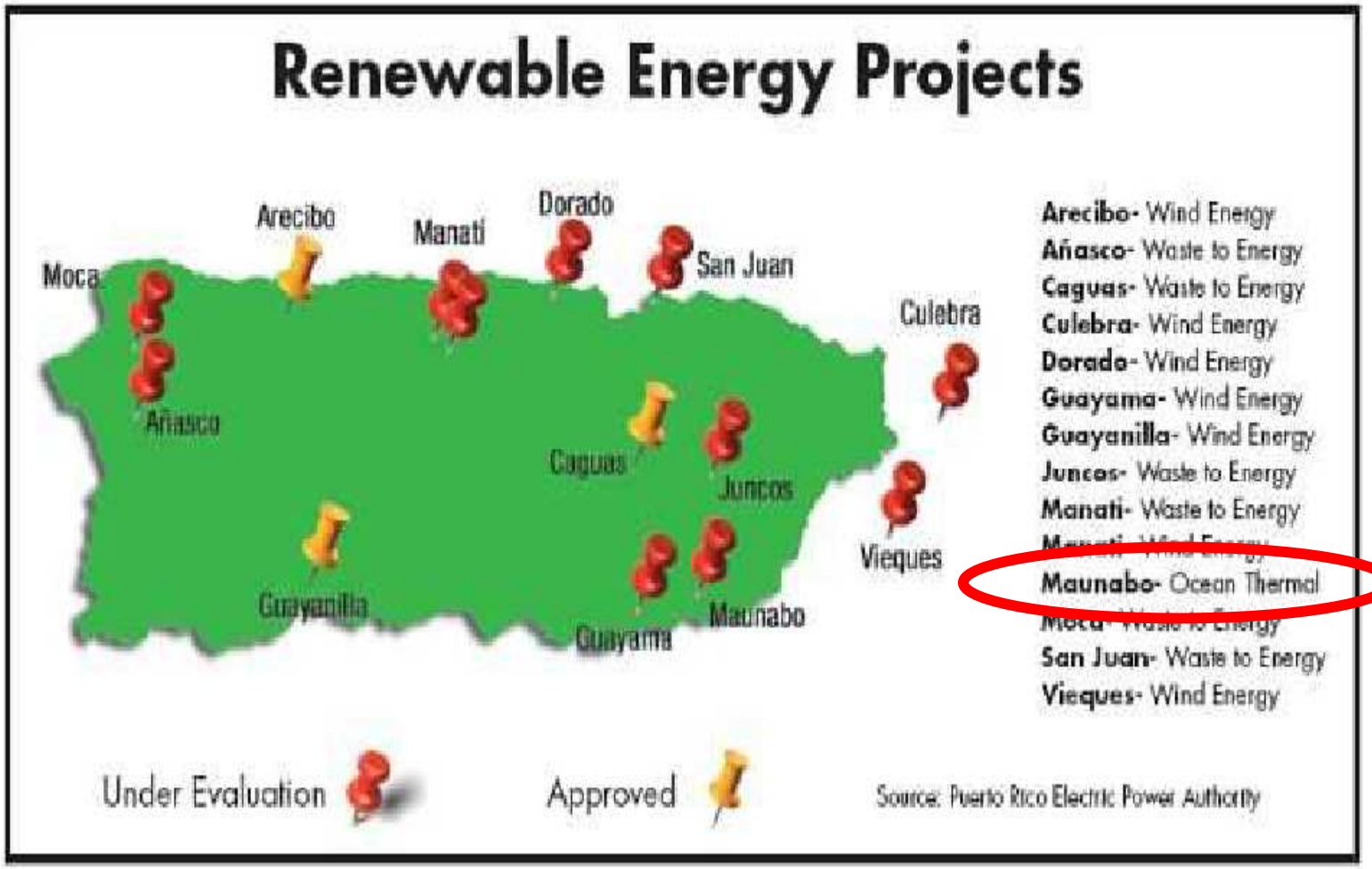
Yet another exciting initiative underway is OTEC, ocean thermal energy conversion, a way to generate electricity using the temperature difference from the surface to different depts.

"The method involves building a floating platform to pump cold water from the ocean depths to the surface and extracting energy from the flow of heat between the cold water and warm surface water. OTEC utilizes the temperature difference to run an ammonia turbo generator," explained renowned environmental scientist and project consultant Dr. Michael Szendrey.

"Prepa signed a letter of intent with a project proponent to develop an OTEC initiative with a 75 MW capacity," said Alicea. "We've just received the results of the viability study."

"There are only a handful of places in the world in which these ideal conditions can be found. Puerto Rico is one of those places," added Silva Puras. "Successfully developing OTEC technology not only will diversify our fuel production, but will put us on the map at the cutting edge of this important technology development."

# Artículos de prensa del 2008 sobre la propuesta de OIA

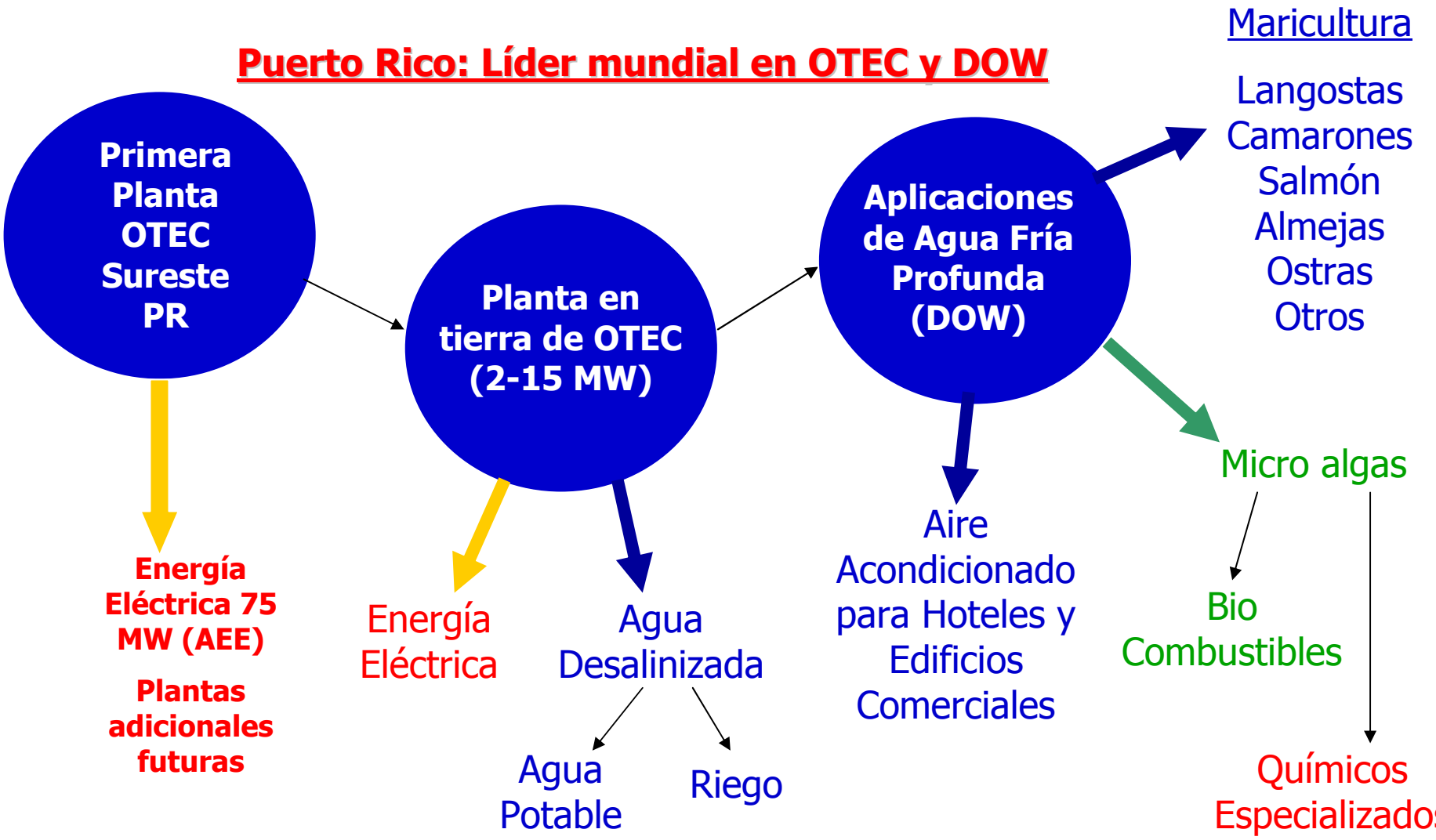



**Plan estratégico de la AEE donde se incluye la propuesta de OIA para desarrollar OTEC (12 de marzo de 2009)**

# Otras Posibilidades

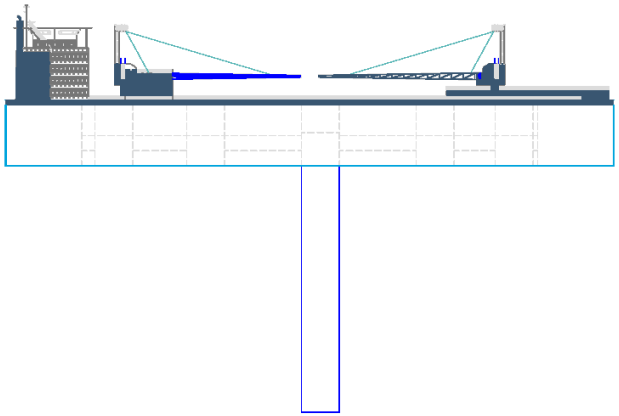
- Posible planta en tierra para la co-producción de electricidad y agua desalinizada.
- Aprovechamiento concurrente de aplicaciones de agua profunda (DOW).
- Investigación y desarrollo en OTEC y DOW
- Capacidad podría estar entre 2 a 15 MWe, con co-producción de 0.5 MGD de agua potable por MWe.
- Posibilidad de colaboración con entidades regionales (municipios, etc.)
- La AAA y entidades privadas han expresado interés en el concepto.

# Ideas de Implementación de OTEC y DOW en Puerto Rico



# OTEC y el futuro de Puerto Rico …

Plantas de OTEC de 100-200 MW



(Plataformas Flotantes o Naves)

Producción de:

- Energía eléctrica
- Agua desalinizada
- Amoniaco
- Hidrógeno
- Metanol
- Aluminio

(Otros productos con alta demanda energética)

**Potencial mercado de múltiples plantas de OTEC (plataformas o naves) para el Pacífico, Golfo de Méjico y el Caribe para el 2050.**

**Exportación de tecnología y servicios de OTEC para este nuevo mercado puede representar un impacto significativo para la economía de PR.**

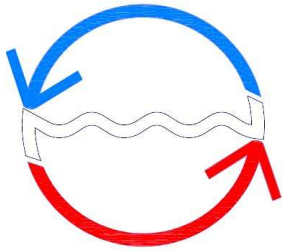
# Conclusión

- **OTEC** es la manera de generar grandes cantidades de energía más benigna y de menor riesgo al ambiente disponible en el presente.
- **OTEC** es viable hoy (técnica, económica y ambientalmente).
- Está disponible 24 horas/día, 7 días/semana, 365 días/año.
- No es vulnerable a factores externos (embargos, guerras, alzas en demanda, etc.)
- Costo es fijo y conocido desde el primer día. Cero volatilidad de precios.
- Puerto Rico **debe ser la base** para exportar tecnología y servicios de OTEC a otros lugares en el mundo.

# ENERGIA OCEANO TERMAL:

## ENERGIA RENOVABLE PARA PUERTO RICO Y EL MUNDO

# Preguntas y Respuestas



# www.offinf.com