

ENERGY CRISIS AND ITS ALTERNATIVES: SHORT-TERM SOLUTIONS FIRST PART OF CONFERENCE DELIVERED BY Dr. Juan A. Bonnet, Jr. Assistant Executive Director Planning and Engineering Authority of the River Sources of P.R. University of Puerto Rico, Río Piedras Campus on November 29, 1977

CONFERENCE November 29, 1977 ENERGY CRISIS AND ITS ALTERNATIVES: SHORT-TERM SOLUTIONS. By Dr. Juan A. Bonnet, Jr. Assistant Executive Director Planning and Engineering Authority of the River Sources

## 1. Introduction

Good afternoon. It is a great pleasure for me to have the opportunity to be here this afternoon at the University Campus of Río Piedras of the University of Puerto Rico, to talk to you about the Energy Crisis and its Alternatives. This afternoon we will limit our discussion to some short-term solutions to the energy crisis and tomorrow we will continue with a presentation where we will talk about the long-term solutions.

To talk about the "Energy Crisis in Puerto Rico" it is necessary that, primarily, we understand clearly what the global energy problem is and how it affects the United States and Puerto Rico. In this way we can visualize the short-term solutions to the energy problems of our Territory. Remember that we live on a finite planet. Many times we believe that our resources are infinite and they are not. The truth is that the world is like a spaceship traveling through space and it took millions of years to form. Some of the resources that we are currently using took the world,

NOTE: Currently, Dr. Bonnet is the Director of the Center for Energy and Environmental Studies at the University of Puerto Rico.

---Página de Descanso--- Billones de años en formarse. La raza humana de hoy en día está usando esos recursos en sólo unas decenas de años. Si utilizamos los recursos energéticos en decenas de años y le costó al mundo billones de años en formarse, vamos a tener problemas serios en un futuro cercano. Esto es también muy cierto con relación a nuestro ambiente, tenemos que conservarlo y cuidarlo para el bienestar nuestro y el de futuras generaciones. La Crisis Energética Mundial y en los Estados Unidos Hoy en día continuamente oímos hablar de la crisis energética por la cual atraviesa el mundo en general y en particular su efecto en Puerto Rico. ¿Pero, qué en realidad envuelve esta crisis? Algunos consideran la crisis energética como el encarecimiento desmedido y acelerado de las fuentes de energía fósil y en particular el petróleo. La realidad del caso, sin embargo, es que el aumento sin par en el costo del petróleo ha servido para ayudarnos a reconocer que las fuentes mundiales de petróleo son finitas y que, por lo tanto, además de conservarse, su uso debe optimizarse. En otras palabras, el problema energético mundial consiste en depender de fuentes energéticas limitadas para satisfacer una demanda por energía en continuo crecimiento, mientras otras fuentes energéticas más abundantes no se les utiliza proporcionalmente. En adición debemos realizar que la crisis energética no es solamente un

problema tecnológico. El problema energético es muy complejo y también envuelve aspectos políticos, sociales y económicos muy profundos. La energía es indispensable para la supervivencia y el desarrollo de la humanidad. Podemos decir que la problemática energética es hoy en día el desafío internacional más fundamental amenazando nuestro sistema de vida. Por primera vez en la historia un grupo pequeño de naciones que controlan un recurso indispensable al presente como es el petróleo pueden romper el orden económico y político mundial. ---Página de Descanso--- Ahora bien, es conveniente mencionar cómo es que el mundo ha llegado a

La situación energética por la cual atraviesa el mundo es compleja. Según podemos observar en la Figura 1, para el año 1850, el 90% de las necesidades de energía se satisfacían quemando madera. En el año 1990, el carbón vino a sustituir la madera como el combustible por excelencia, pero ya para 1925 el petróleo y gas natural comenzaban a utilizarse significativamente debido a su precio más reducido. Hoy en día, cerca del 65% del requerimiento de energía proviene del petróleo y gas.

Pero tenemos que reconocer que la humanidad no puede depender de una fuente específica de energía y que hay que ajustarse a las realidades comerciales y a la competencia de otras necesidades indispensables que puedan suplirse de algunas fuentes como la madera y el petróleo. Lo paradójico de la situación es que el petróleo tan solo representa el 18% de las reservas energéticas conocidas y el gas natural cerca de un 9%. Un estimado de las reservas energéticas mundiales de Estados Unidos se ilustra en la Figura 2.

Noten que de los recursos disponibles en los Estados Unidos, más del 96% son carbón y nuclear. A los Estados Unidos se les podría referir como la Arabia Saudita del carbón. Sin embargo, aproximadamente el 74% del consumo de energía en los Estados Unidos proviene del petróleo y gas. Más de la mitad del petróleo usado en los Estados Unidos es importado, lo cual pone a la nación en una condición muy vulnerable.

Podemos concluir de esta figura que definitivamente existe una mala utilización de recursos en el campo energético. En la Figura 3 podemos apreciar la utilización mundial de los recursos energéticos tanto histórica, presente, como futura, y podemos apreciar que el petróleo como fuente de energía está destinado a desaparecer en las próximas cuatro o cinco décadas si es que se continúa al ritmo actual. Muchos escenarios como este han sido desarrollados por diferentes organizaciones y este aquí se demuestra.

The text seems to be a mix of gibberish and Spanish, and it's difficult to make out the exact meaning. However, the coherent part in Spanish can be fixed as follows:

"Como ilustración, ya que todos los estudios llegan básicamente de esta forma, también podemos apreciar la necesidad de utilizar el carbón y la energía nuclear a plena capacidad mientras se desarrollan otras fuentes como la radiación solar y sus derivados, tales como la energía del viento y la oceánica. Esta última utiliza las diferencias de temperatura entre la superficie del océano y sus profundidades para producir electricidad y su potencial para el Caribe es inmenso. Puerto Rico y, por lo tanto, es evidente la importancia de ir sustituyendo el petróleo como fuente de energía por otros recursos más abundantes. En adición, como ustedes bien saben, el petróleo es la materia prima principal para una infinidad de productos muy importantes. Lo peor que se puede hacer con el petróleo es quemarlo para producir energía. Esta condición se puede apreciar más

dramáticamente en la Figura 4. Para tener una idea más clara del recurso energético nuclear, la Figura 5 nos ilustra la relación existente entre los recursos de energía en los Estados Unidos. Podemos notar que el uranio usado en la economía de los reactores reproductores puede proveer energía por cientos de años. Mientras tanto, se proveerá el tiempo necesario para desarrollar fuentes alternas de energía. Aunque los Estados Unidos no continuarán de momento desarrollando los reactores reproductores, otros países como Francia, Inglaterra, Rusia y Japón continuarán con su desarrollo. El Presidente Carter propone en su Plan Energético Nacional que en los Estados Unidos se debe..."

Reducir el crecimiento anual de demanda de energía a menos de 2% para el año 1985. Actualmente, este crecimiento es de 4.6%. Reducir el consumo de gasolina para el año 1985 a 10% por debajo del consumo actual. Reducir las importaciones de petróleo de un nivel de 16 millones de barriles diarios a 6 millones de barriles diarios.

Establecer una reserva estratégica de petróleo de un billón de barriles. Aumentar la producción de carbón en más de dos tercios para llevarla a una producción anual de un billón de toneladas. Aislar adecuadamente el 90% de las residencias existentes y todos los edificios nuevos e instalar calentadores y calefacción solar en 2.5 millones de casas.

El Presidente Carter propone utilizar al máximo el carbón y también los reactores nucleares de la presente generación para satisfacer las necesidades eléctricas de la nación. Debemos tomar en consideración estas propuestas, pero analizando cuidadosamente nuestras condiciones particulares.

### III. Problema Energético de Puerto Rico

Los requerimientos de energía de Puerto Rico se dirigen a la manufactura, la producción de electricidad para transporte y otros. Sin embargo, el problema energético de Puerto Rico radica en que dependemos casi exclusivamente de una sola fuente de energía que es el petróleo extranjero. Este es también el caso de nuestros hermanos del Caribe.

A pesar de su pequeño tamaño, Puerto Rico es el país número 27 entre los países del mundo en cuanto a consumo per cápita de petróleo. La Figura 6, donde se ilustra el tamaño de los países en proporción a su consumo de petróleo, nos da una indicación de nuestro alto consumo de petróleo. Pueden notar que Puerto Rico, en este sentido, se...

Se convierte en la más grande de las Antillas, es más grande que Alaska y que la mayoría de los países de Centro y Sur América. La Figura 7 nos da una idea de cómo se utiliza todo este petróleo aquí en Puerto Rico. Esta figura es muy importante, ya que también nos indica la relación de energía perdida a la

ESTADOS UNIDOS REFERENCIA 2» TAMARO DE PAÍSES EN PROPORCIÓN A SU  
CONSUMO DE PETRÓLEO FIGURA 6

7 = a 903 2a Motoray a Sourtousse-sootssowna soionaore 20 Ola Oo oveand

Utilizada y podemos apreciar la necesidad de una mejor utilización rafa. El Cuadro I provee un resumen de esta información de la e Como dijimos anteriormente, el petróleo está destinado a agotarse en aproximadamente unos 40 o 50 años más y es definitivo que su precio continuará aumentando más y más. Se puede decir que Puerto Rico es en la actualidad una colonia de los países de la Organización de Países Exportadores de Petróleo (OPEP). Esta dependencia de Puerto Rico casi total en petróleo extranjero hay que disminuirla cuanto antes para así prevenir un posible caos económico de nuestra isla. Esta situación es sumamente grave ya que Puerto Rico venía desarrollando una economía industrial proveyendo entre otros incentivos energía eléctrica más barata que en los Estados Unidos. Esto era así ya que antes del 1973 el petróleo extranjero era más barato que el de los Estados Unidos. Pero con la organización del OPEP esto se invirtió. Ahora el petróleo extranjero (aproximadamente \$14.60 por barril) es mucho más caro que el de los Estados Unidos (aproximadamente \$9.23 por barril). Es evidente que hemos perdido la ventaja energética económica que teníamos. Algunos efectos históricos de esta condición se pueden apreciar en la Figura 8 donde se presentan cambios agrícolas e industriales de nuestra economía. Impacto en la Economía de Puerto Rico El impacto en la economía de Puerto Rico debido al brutal aumento de más de 400% en el costo del petróleo ha sido significativo. El flujo de nuestro capital hacia

La exportación de petróleo ha sido enorme. En el Cuadro II podemos ver la cantidad de dinero que los puertorriqueños hemos venido pagando anualmente por el petróleo que

---Página Interrumpida---

utilizamos. Resulta complicado entender la información presentada en esta sección debido a errores de transcripción.

---Página Interrumpida---

Nuevamente, la información en esta sección es incomprensible debido a errores de transcripción.

---Página Interrumpida---

Aquí también, la información es incomprensible debido a errores de transcripción.

---Página Interrumpida---

se quema para producir energía eléctrica. También podemos ver proyecciones de lo que pagaremos en el futuro. Pueden notar en estas proyecciones que no se vislumbra reducción en el costo de la electricidad, sino al contrario, seguirá aumentando según el costo del petróleo continúe aumentando. Durante el año fiscal 1976-77 los consumidores pagaron más de \$300 millones por 22.6 millones de barriles de petróleo y este dinero se fue de nuestro territorio para enriquecer otros países. También en este cuadro se presenta la generación de energía eléctrica. Nótese la reducción experimentada luego de 1973. Es importante aclarar que todo ese dinero que pagan los consumidores por el petróleo no entra en las arcas de la compañía eléctrica sino que hay que usarlo para pagar el petróleo que se compra para quemarlo y producir electricidad. Esta energética también repercute sobre el sector manufacturero y en el de la transportación. Por ejemplo, el Cuadro III nos presenta algunos indicadores económicos dentro de estos sectores. En la Figura 9

se muestran los cambios en las importaciones y

Exportaciones de Puerto Rico durante los últimos años. Es evidente que nuestra economía recibió un duro golpe y que aunque ya va recuperándose, no es de esperarse que llegue a ser lo que hubiese sido sin el efecto del problema energético. Soluciones a Corto Plazo. Ahora vamos hablar sobre fuentes energéticas comerciales que estén disponibles de momento. Está disponible el carbón, la hidroeléctrica, el petróleo y las centrales nucleares. En Puerto Rico básicamente utilizamos el petróleo solo; y un poco la energía hidroeléctrica. También se habla de la posibilidad de yacimientos de petróleo en la costa norte, pero no podemos planificar basado en ese petróleo hasta que se encuentre definitivamente y de encontrarse no debemos utilizarlo para quemarlo para producir electricidad, ya que el petróleo tiene una infinidad de otros usos. Lo que debemos hacer es desarrollar petroquímicas u otro tipo de industrias y venderlo como están haciendo los Árabes e Irán, y que están construyendo centrales nucleares para suplir su electricidad. Como indicamos anteriormente en Estados Unidos hay mucho carbón y en Puerto Rico no lo hay.

"Pero esta es una alternativa viable. Energía hidroeléctrica, no nos queda mucho más. El problema de las centrales nucleares hidroeléctricas es que el agua es necesaria para otros usos, no hay mucho más que se pueda desarrollar en nuestra isla. Aunque debemos desarrollar lo poco que nos queda. La energía solar de momento saldría en mucho más de 20 centavos por kilovatio hora, lo que quiere decir que habría que aumentar las tarifas eléctricas ya que no es viable de momento producir toda la generación de energía eléctrica con energía solar. Por supuesto esto no quiere decir que no se utilicen calentadores solares ya que estos hoy en día son económicos y viables técnicamente. Así que podemos ver que de las alternativas citadas, el carbón y las centrales nucleares son desde el punto de vista económico las alternativas más viables del momento. En los Estados Unidos se ha hecho un estudio más específico de comparar el costo del carbón y el nuclear en diferentes sitios. Cuando se acerca a sitios donde el carbón está disponible, este compete económicamente muy bien con las centrales nucleares. No obstante, en el centro de los Estados Unidos, el costo de una central nuclear es de 3 centavos por kilovatio-hora y uno de carbón, 3.4 centavos por kilovatio-hora.

En otro estudio que se hizo en 1975, el promedio de costo de la energía eléctrica de una familia de 4 personas en los Estados Unidos si recibe su electricidad quemando petróleo, paga del orden de \$60.00 al mes. Si fuera un sistema completamente dependiendo de carbón, pagarían del orden de \$31.50 al mes y si fuera un sistema dependiendo de centrales nucleares pagarían del orden de \$22.14 al mes. Estos costos nos dan una idea de los aspectos económicos de las alternativas a corto plazo. Como la alternativa nuclear es la más económica discutiremos ahora algunos de sus aspectos con más detalle. Seguridad de Centrales Nucleares. Primeramente, aclaremos que tanto la central nuclear como la fósil requieren la producción de calor para hervir agua. Esta"

El agua, en forma de vapor, se utiliza para mover el turbo-generador, que genera la electricidad. De modo que la central nuclear y la fósil difieren en el método de producción; la fósil lo obtiene por el método convencional de la combustión de carbón o petróleo, la nuclear lo obtiene por el proceso de la fisión nuclear. La fisión nuclear no es otra cosa que la división del núcleo de un átomo pesado en varios fragmentos más livianos, proceso que libera gran cantidad de calor. Esta división es inducida por una partícula eléctricamente neutral conocida como el neutrón. Al fisionarse el átomo pesado libera, entre otros fragmentos, neutrones adicionales, que entonces se encuentran disponibles para ocasionar más fisiones, como una reacción en cadena; de modo que podemos

obtener lo que se conoce como energía y su resultante liberación de calor. En los reactores nucleares de hoy día se utiliza el uranio-235 para proveer los átomos pesados que constituyen el material al fisionarse, es decir el combustible nuclear. La maravilla y economía de este proceso se hace evidente cuando se reconoce que solo una libra de Uranio-235 produce tanto calor (y podemos decir tanta electricidad) como 3 millones de libras de carbón. La forma en que se utiliza el calor generado en el reactor nuclear para producir vapor es la siguiente: Agua a presión circula a través del corazón del reactor, absorbiendo el calor generado por la fisión nuclear. El agua caliente entonces pasa por las tuberías del generador de vapor, fuera de cuyas tuberías se encuentra otra agua que al calentarse se evapora. El agua que contenía el calor de la acción nuclear sale más fría. Al salir del generador de vapor se bombea entonces nuevamente a través del reactor para completar un circuito cerrado conocido como el circuito primario. De modo que el circuito primario se asemeja al sistema de enfriamiento de un carro donde el motor, al igual que el reactor nuclear, libera calor y el radiador, al igual que el generador de vapor, disipa este calor. Un

El reactor nuclear de agua a presión 2 consiste en dos circuitos primarios idénticos. Como ya habíamos apuntado, el vapor generado se utiliza para mover el turbogenerador que produce la electricidad. Una vez que el vapor ha efectuado su trabajo en el turbogenerador y ha perdido su energía, se condensa para devolverlo a la forma líquida y se bombea de vuelta al generador de vapor para producir nuevamente vapor. Este es un proceso cerrado que es conocido como el circuito secundario. Para condensar el vapor de baja energía se necesita agua de enfriamiento, que en el caso de Puerto Rico sería agua de mar. Y esa sería la única interacción de la central nuclear con el ambiente. El agua salada se tomaría del mar, se pasaría a través del condensador de vapor y se devolvería al mar con un incremento de 13°F sobre su temperatura ambiental. La descarga de esta agua salada se puede hacer a media milla de la costa y a una profundidad de 66 pies. De esta manera nunca se excederían los límites impuestos por la Junta de la Calidad Ambiental de Puerto Rico que exigen que la temperatura no exceda más de 1.5°F sobre la temperatura del ambiente fuera de una zona de mezcla de un diámetro de 400 pies. También se mantendrá un sistema de rastreo de la ecología marina en el área. No olvidemos que las plantas no nucleares, además del problema del agua caliente que comparten con las nucleares, contaminan el aire con las emisiones resultantes de la combustión del petróleo. Hablemos ahora de la seguridad de las plantas nucleares. En un reactor nuclear la reacción de fisión se controla introduciendo en el corazón del reactor materiales que poseen gran afinidad para absorber neutrones que compiten en mayor o menor grado con el U-235 por capturar estos neutrones. Por ejemplo, si introdujéramos gran cantidad de boro al corazón de un reactor en operación la reacción nuclear cesaría prácticamente, ya que todos los neutrones tenderían a ser absorbidos por el boro. ¿Y si fuera posible sacar todo el boro, qué... (Texto incompleto)

¿Sucedería? Esta pregunta nos lleva a una aclaración de suma importancia, y es que una reacción descontrolada y acelerada, el tipo que ocurre en una bomba atómica, es unánimemente considerada imposible por los científicos. Les explicaré las razones:

1. Una bomba atómica necesita de 98 a 99% de U-235 mientras que el material combustible de un reactor nuclear solo contiene 3.5% de U-235.

2. Una bomba atómica necesita de cargas explosivas de TNT con el propósito de repentinamente lanzar dos o más masas de U-235 unas contra otras para que reaccionen instantáneamente. En un reactor nuclear los procesos ocurren lentamente y no existen cargas de TNT. La física nuclear que rige la reacción nuclear en una bomba atómica no puede contener la reactividad, esto es a medida

que la bomba genera calor, no pueden surgir efectos de temperatura que tiendan a apagarla. Este coeficiente negativo existe en un reactor nuclear, de modo que la reacción tiende a apagarse a medida que sube la temperatura, siendo por lo tanto un proceso auto-controlado.

3. La planta nuclear posee métodos alternos para insertar boro al reactor y esta inserción ocurriría automáticamente si la reacción se encontrase fuera de control. Hemos visto que es imposible que una central nuclear explote como una bomba atómica. ¿Podemos detener un escape radioactivo? Discutamos el tema. Los productos de fisión que resultan al fisionarse el U-235 son altamente radiactivos, es decir, son por naturaleza inestables y emiten partículas y/o rayos energéticos para llegar a formas estables. Estas partículas y/o rayos energéticos se conocen como radiación. Bien, pues veamos las barreras y obstáculos que en una central nuclear sirven para detener o impedir la fuga de radiactividad.

1. Primera barrera: el U-235 no se encuentra puro sino ligado con oxígeno en el compuesto óxido de uranio, el que actúa como pasta aglutinadora que tiende a retener los productos de fisión.

2. Segunda barrera: el óxido de uranio se manufactura...

En estos cilindros que se almacenan dentro de tubos sellados de una aleación del metal zirconio. Estos tubos constituyen el revestimiento del combustible y evitan el escape de los productos de fisión, incluso si estos escapan de la matriz de óxido de uranio.

3. Tercera barrera en el reactor, que es una vasija de presión de acero donde los tubos de combustible son colocados.

El reactor y su circuito primario, de 5 a 7 pulgadas de espesor, impiden el escape de radiación, incluso si fallara el revestimiento del combustible.

4. Cuarta barrera: el reactor nuclear, el circuito primario y los generadores de vapor van instalados dentro de un edificio de contención de acero de por lo menos 2 pulgadas de espesor. En el remoto caso de que fallaran las barreras anteriormente mencionadas, el edificio de contención evitaría cualquier fuga radioactiva a la atmósfera.

5. Quinta barrera: Además del edificio de contención de acero, tenemos un edificio de contención de hormigón superpuesto a este de por lo menos 2 pies de espesor. Entre los dos edificios existe un espacio de aproximadamente 5 pies, ligeramente al vacío, de modo que cualquier filtración ocurriría de la atmósfera al edificio y no inversamente. Este edificio de contención de concreto sirve de blindaje contra la radiación, además de evitar el escape de radiactividad.

6. Sexta barrera: Alrededor del reactor nuclear existe un área de exclusión de 0.4 millas. Debido a que la radiación directa disminuye inversamente con el cuadrado de las distancias, la radiación a 0.4 millas del reactor sería una fracción insignificante de lo que sería al lado del reactor. Debido a la serie de barreras que hemos mencionado, así como a los sistemas de seguridad redundantes (es decir, dos o más sistemas con la misma función de información o seguridad), se ha establecido

13 en el último informe sobre la seguridad de reactores.

El informe de Rasmussen (Wash. 1400) preparado en los Estados Unidos sobre nucleares, sugiere que si ocurriera el peor accidente concebible, como el derretimiento del corazón del reactor, no habría muertes ni heridos. Los daños a la central serían del orden de \$100,000. Se estima que la probabilidad de ocurrencia de este accidente es de uno en 17,000 años-reactores de operación. En el caso remoto de que ocurra este accidente hipotético, la dosis radiológica que recibiría una persona viviendo en las colindancias de la central nuclear, sería menos de la dosis recibida por una persona viviendo en las colindancias de la central nuclear, y menos de la mínima cantidad de 5 millirems al año. Para darles una idea de la insignificante magnitud de esta dosis, en Puerto Rico recibimos del ambiente un promedio de 115 millirems al año; si viviéramos en Estados Unidos recibiríamos 180 millirems al año y en ciertos sitios de la India y Brasil recibiríamos hasta 500 millirems al año. De hecho, 5 millirems al año es la dosis adicional que recibiríamos si hiciéramos un viaje en avión ida y vuelta de Nueva York a California debido a la disminución del filtro atmosférico. Asimismo, vivir en una casa de madera o concreto incrementaría nuestra dosis en aproximadamente 25 millirems al año. También debemos señalar que durante las operaciones normales, la dosis que por reglamentación se permite recibir a una persona viviendo en la verja de la planta 24 horas al día los 365 días del año, es mucho menor de 5 millirems al año. En cuanto al licenciamiento de Centrales Nucleares, deseo señalar la estricta fiscalización que se ejerce sobre todo lo relacionado con una central nuclear. La localización, construcción y operación de reactores nucleares está regulada por la Comisión Reguladora Nuclear. Antes de comenzar a construir una central nuclear es necesario presentar a la CRN un estudio completo de la localización donde se propone instalar la central nuclear y su efecto en el medio ambiente. Esto

Se llevó a cabo para NORCO-NP- el 27 de septiembre de 1974. También se requiere aprobación de la Junta de Planificación y de la Junta de Calidad Ambiental, así como permisos especiales de la Agencia Federal de Protección Ambiental, el Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos y el Departamento de Recursos Naturales. Además, se debe someter el diseño completo y detallado de la central nuclear, junto a una evaluación de todos los accidentes posibles, sus consecuencias y las medidas tomadas para prevenirlas. Después de este riguroso escrutinio, se opera la central, pero siempre bajo la vigilancia e inspección de la CRN. Veamos también cuál ha sido la experiencia acumulada por centrales nucleares. Para el 30 de junio de 1977, había 67 centrales nucleares comerciales en operación en los Estados Unidos, con una capacidad de 47,568,000 kilovatios eléctricos, lo que equivale a más de diez (10) veces la capacidad actual del sistema eléctrico de Puerto Rico. Además, hay en construcción otras 77 centrales nucleares y 75 adicionales están en etapa de planificación. En el mundo hay más de 300 centros nucleares comerciales en operación. En ninguna ocasión ha ocurrido alguna fuga incontrolable de radiactividad o una muerte a causa de radiación. Aún no ha ocurrido una sola demanda por daño físico o a la propiedad como resultado de la operación de reactores nucleares de potencia. Se puede declarar, por lo tanto, a base de la experiencia obtenida, que la industria nuclear posee el mejor récord en lo referente a seguridad de todas las industrias en los Estados Unidos.

Conclusión: Por lo tanto, en la planificación del plan energético de Puerto Rico se recomienda, entre otras cosas, las siguientes condiciones para desarrollar una estrategia a corto plazo:

1. Desarrollar lo antes posible un programa amplio de conservación de energía (mejor utilización).
2. Desarrollar programas de orientación sobre la problemática energética y el uso efectivo de la energía.

### 3. Gestionar mayores subsidios federales para las refinerías.

Petroquímicas en Puerto Rico, incluyendo subsidios de transportación marina para que así estas industrias puedan competir nuevamente con industrias similares extranjeras y domésticas. Esta tesis de petróleo en Puerto Rico y utilizar el petróleo más efectivamente, incluye la posibilidad de establecer una reserva estratégica. Ampliar las investigaciones de fuentes autóctonas de energía como son la radiación solar, fuerza del viento y océano térmico. Ninguna de estas fuentes es comercialmente económica en la actualidad. Continuar exploraciones petrolíferas, especialmente perforar en la Costa Norte de Puerto Rico. Para esto es necesario aclarar la jurisdicción de Puerto Rico en sus costas y tener todas las precauciones ambientales necesarias. Estudiar la viabilidad de utilizar carbón en sustitución del petróleo para generar electricidad. Estudiar la viabilidad de utilizar la energía nuclear. Como ejemplo, si tuviéramos en funcionamiento una central nuclear de 600 Mw en el año fiscal 1976-77, los consumidores hubiesen pagado \$90 millones menos por concepto de combustible que los \$301 millones que pagaron por petróleo. Desarrollar una estrategia de financiamiento para que Puerto Rico se pueda beneficiar lo antes posible de fuentes alternas de energía, como el carbón y la nuclear, mientras se desarrollan comercialmente las fuentes autóctonas mencionadas arriba. En lo que esta política energética se establece, debemos comenzar desde hoy mismo a utilizar los recursos energéticos más efectivamente y fortalecer con recursos locales los programas de investigación y desarrollo de fuentes autóctonas de energía. Un paso en esta dirección representa que hemos seleccionado el camino correcto.

CONFERENCIA 30 de noviembre de 1977 PARTE II: CRISIS DE ENERGÍA Y SUS ALTERNATIVAS: SOLUCIONES A LARGO PLAZO Por Dr. Juan A. Bonnet, Jr. Director Ejecutivo Auxiliar Planificación e Ingeniería Autoridad de las Fuentes Fluviales de PR

#### 1. Introducción

En nuestra conferencia de ayer hablamos sobre la

Crisis de Energía: Soluciones a Corto Plazo. Hoy vamos a hablar específicamente sobre Energía a Largo Plazo. Primeramente vamos a revisar brevemente cuál es la problemática energética y sus soluciones a corto plazo. Mencionamos ayer que cada vez que hablamos de la problemática energética tenemos que recordar que toda la humanidad vive en el Planeta Tierra, y que los recursos que tenemos en este planeta son finitos. Hay recursos como el petróleo, los cuales tomaron billones de años en formarse y hoy en día la humanidad los está usando en unas cuantas décadas. En el periodo del año 1970 al 2000 se va a consumir más energía que toda la energía que ha consumido la humanidad hasta el año 1970. Moralmente estamos haciendo un mal a las futuras generaciones. Por lo tanto tenemos que procurar utilizar.

El Doctor Bonnet es Director del centro para Estudios Energéticos y Ambientales de la Universidad de Puerto Rico.

Recursos que sean inagotables para producir la energía en el futuro. En el Planeta Tierra, el recurso de mayor cantidad disponible para producir energía es el carbón; después, el Uranio 235; luego el petróleo, el gas natural y la energía hidroeléctrica. ¿Cómo estamos utilizando estos

recursos? El 36% de las necesidades energéticas mundiales se produce quemando carbón, el 40% quemando petróleo y un 20% quemando gas. En los Estados Unidos, un 22% de las necesidades energéticas se produce quemando carbón, un 46% quemando petróleo y un 32% gas natural (Figura 1). Inmediatamente podemos darnos cuenta de la problemática técnica-energética que hay: se está utilizando mal los recursos disponibles. Es decir, los recursos existentes más abundantes como el carbón y el Uranio 235 no están siendo utilizados a la razón que deberían y el petróleo, el cual está escaso, se está utilizando a una razón demasiado grande. Esta condición la reconocieron los países productores de petróleo y trajeron a atención mundial la crisis energética que existe hoy día. Soluciones a Largo Plazo.

Para resolver el problema a largo plazo, tenemos que enfatizar el uso de recursos renovables. Los recursos renovables incluyen ---Página Interrumpida--- energía solar, la fusión, el océano y el viento. Observemos algunas de las fuentes de energía renovables del mundo que todavía no se están utilizando, y veamos una estimación de la cantidad que se podría utilizar anualmente. Los recursos renovables tienen la ventaja de que no se agotan. Utilicemos la unidad igual a  $10^{15}$  e1U. Si utilizáramos la energía geotérmica, se podría llegar a producir hasta .009 "9" anuales. Con relación a Puerto Rico, las indicaciones que hay de los geólogos es que las posibilidades de energía geotérmica aquí son mínimas. Lo que se conoce son los baños de aguas calientes de Coamo, pero la fuente geotérmica que hay allí es muy pequeña y muy joven geológicamente hablando. La energía del viento puede contribuir hasta .003 "Q" anualmente y este sí tiene utilidad en Puerto Rico. La energía de las mareas podría contribuir hasta .09 " " anualmente, ya se está utilizando en Francia y en Londres en sitios experimentales. Veamos ahora el potencial inmenso de la energía solar, este es de 5,090 "9" anuales. Tanto es así que la radiación de energía solar que llega al Planeta Tierra es más de 300,000 veces la energía que se usa hoy en día por toda la humanidad. Así que es una cantidad extraordinaria la energía solar que llega al Planeta, por eso es importante trabajar en su desarrollo lo antes posible. Básicamente podemos afirmar que las fuentes principales a largo alcance están basadas en la energía solar y su utilización de una manera u otra. ---Página Interrumpida--- Discutamos también algunos de los otros recursos que se agoten pero que estén disponibles en grandes cantidades. Uno de ellos es el uso de los reactores nucleares.

Reproductores, el cual si se desarrolla podría contribuir hasta 420,000 "0". Otro recurso inmenso es la fusión. Sobre la fusión, numerosos científicos alegan que esta es la solución última a los problemas de la energía. Y tan es así, que la energía solar es una forma de fusión que ocurre en el sol y nosotros nos beneficiamos en el Planeta Tierra. Si pudiéramos llevar a cabo la fusión controlada en la tierra, esta podría contribuir del orden de 10 billones de "a" de energía. Revisemos ahora un estudio de cómo se van a suplir las necesidades energéticas en el mundo hasta el año 2020; y aunque este es un estudio más, todos más o menos, llegan a la misma conclusión con diferentes números (Figura 2). Hoy en día, las necesidades mundiales se suplen del carbón, el petróleo, el gas natural, la hidroeléctrica y la nuclear. La energía solar todavía no está contribuyendo, ni la geotérmica, ni los desperdicios sólidos para producir energía. Ahora podemos notar que el petróleo está destinado a llegar a un nivel máximo y empezar a reducir, tal y como le pasó al gas natural. El Programa Nacional de Energía en los Estados Unidos dispone utilizar el carbón a su máximo para poder suplir las necesidades que no van a poder suplir el gas natural y el petróleo, y después recurrir a usar la energía solar y otras fuentes. Lo que falta será suplido con energía nuclear, en lo que se desarrolla la energía solar, la energía geotérmica y la utilización de desperdicios. En la Figura 2 se ve que para el año 2020 la energía solar estará contribuyendo significativamente a las necesidades energéticas e igualmente contribuirán las otras; geotérmica,

desperdicios sólidos y otros tipos de energía. Energía eólica. Hablemos ahora de otro tipo de energía que

Tiene aplicación inmediata no solamente desde el punto de vista mundial sino desde el punto de vista de Puerto Rico. En la actualidad tenemos un proyecto donde se va a instalar en la Isla de Culebra un molino de viento para producir 200 kilovatios eléctricos. Este proyecto lo financiará el Departamento Federal de Energía, quien solicitó propuestas para instalar varios molinos en distintos sitios de los Estados Unidos. Se sometieron 74 propuestas de todos los Estados Unidos incluyendo la que sometió la Autoridad de las Fuentes Fluviales ofreciendo instalarlo en la Isla de Culebra. Después que se evaluaron las propuestas, se nos otorgó uno de estos molinos de viento el cual vale 2 millones de dólares. Esto es en gran medida debido a que Puerto Rico está en el paso de los vientos alisios, uno de los regímenes de vientos más constantes del mundo. Los molinos de viento para producir electricidad son de mucha utilidad para comunidades pequeñas y para la agricultura. El pico de demanda eléctrica en Culebra es de 800 a 1,000 kilovatios eléctricos. El molino de viento suplirá aproximadamente un 20% de las necesidades energéticas de Culebra, y los domingos, cuando las necesidades de energía eléctrica son mínimas, el molino suplirá toda la demanda eléctrica de Culebra. Es bueno mencionar, que la Isla de Culebra está conectada al sistema eléctrico de Puerto Rico. Hay un cable eléctrico que conecta a través del mar a Culebra con Vieques y hay otro que conecta a Vieques con Puerto Rico; todo en un sistema integrado. O sea, nosotros le suministramos la energía a Culebra y Vieques desde las plantas generadoras que tenemos en la Isla de Puerto Rico. Todas las maneras de producir energía tienen sus problemas ambientales. Antes de instalar el molino hubo que estudiar la migración de aves para asegurarnos que cuando instalásemos el molino no aparecieran los pájaros en su trayectoria migratoria y chocaran con las aspas del molino. Hubo también que estudiar el problema de las ondas de radio y televisión para

Asegurar que el proyecto no afectará la transmisión de estos. El molino está diseñado para vientos huracanados. Cuando haya un huracán, las aspas del molino se colocan paralelamente a la dirección de los vientos. Como pueden notar, toda nueva tecnología ofrece nuevos problemas tecnológicos que hay que considerar. Básicamente, el molino de viento de Culebra es una nueva aplicación de unas técnicas conocidas desde hace años.

---Página Interrupción---

OTEC: Energía del océano. Las aproximadamente 8.4 millones de millas cúbicas de agua del océano cubren más del 70% de la superficie de la tierra y reciben la mayoría de la energía solar, principalmente entre las latitudes 35° norte y 35° sur. Actualmente entre los trópicos de Cáncer y Capricornio, 90% de la superficie es agua. En este cinturón tropical, donde se recibe una gran parte de la energía solar que llega al planeta Tierra, hay más de 40 naciones con acceso al mar incluyendo prácticamente todos los países hermanos de Latinoamérica. Esta faja es una celda de energía inextinguible, ya que cada milla cúbica de agua de mar contiene un trillón ( $10^8$ ) BTU, debido a la diferencia en temperatura entre la superficie y la profundidad. Únicamente, debemos recobrar esta energía para producir electricidad y desarrollar productos que necesiten energía intensa. Dentro de la latitud de 36° del Ecuador, la temperatura de la superficie del océano es de 25 a 30°C (75°F a 85°F). A las profundidades de 750 metros (2,500 pies) la temperatura es de 4 a 7°C (40 a 45°F). Existe una circulación vertical de las aguas debido a las diferencias en densidades. Debido a esta diferencia en temperatura, es posible producir energía mecánica y, por lo tanto, energía eléctrica.

---Página Interrupción---

El Ciclo Carnot nos da una idea de la eficiencia máxima teórica que se puede conseguir para transformar calor a energía en condiciones ideales. Si  $T_y$  es la temperatura del cuerpo caliente y  $T_p$  la temperatura del cuerpo frío, la eficiencia máxima teórica es dada donde las temperaturas estén en grados Rankine. Si se

Genera vapor a  $75^\circ\text{F}$  ( $535^\circ\text{R}$ ) y se condensa a  $45^\circ\text{F}$  ( $505^\circ\text{R}$ ). La eficiencia máxima teórica es del 5.6%. Ahora, una eficiencia máxima teórica es varias veces mayor que la eficiencia real, ya que en este cálculo no se toman en consideración las pérdidas termales, hidráulicas, mecánicas y eléctricas. Por lo tanto, es necesario circular grandes volúmenes de agua de mar para producir una pequeña cantidad de electricidad. Por ejemplo, para producir 250,000 kw es necesario un flujo de agua comparable al flujo del Río Columbia ( $30 \times 10^6$  galones por minuto).

El agua tiene varias desventajas como fluido termodinámico a las temperaturas de las que estamos hablando. La idea es usar fluidos cuyas presiones de vapor y densidades sean mayores que las del agua. El fluido es calentado por agua de la superficie del océano, evaporado y el vapor se usa para mover una turbina, y después se condensa con agua fría de las profundidades del océano (Ver Figura 3). Fluidos como propano, hexano, butano, amoníaco, etc., se pueden usar. De esta manera, la turbina necesaria es mucho más pequeña.

En perspectiva (Ver Figura 4) podemos decir que el equipo necesario para una central oceánica térmica consiste de una tubería y bombas para traer agua fría de las profundidades del océano, un intercambiador de calor de alta temperatura (evaporador), un turbogenerador e intercambiador de calor de baja temperatura (condensador). Veamos ahora el estado actual y estado de desarrollo de cada uno de estos equipos.

El desarrollo de las centrales oceánicas térmicas ofrece un gran número de alternativas en cuanto a sus estructuras, materiales, sistemas, equipos, localización y producto final que se puede elaborar con ellas. Como ejemplo tenemos: a) estructura flotante o boya semi sumergida b) construcción de hormigón, plástico o metales c) intercambiadores de calor de tubos o planchas d) localización dentro del mar o en tierra firme e) producción de energía eléctrica, refinación de metales, o elaboración de productos tales como hidrógeno, amoníaco, sosa cáustica.

Cloro y otros. El gobierno de los Estados Unidos está realizando una ingente labor para llevar el concepto de las centrales oceánicas a la

FIGURA 3 CENTRAL ELÉCTRICA OCEANO-TÉRMICA EVAPORADOR + AGUA DE MAR CALIENTE ALTERNADOR P o a AGUA DE MAR FRÍA CONDENSADOR AMONIA LÍQUIDO

CENTRAL OCEANO-TÉRMICA EN PERSPECTIVA FIGURA 4

Etapa de producción comercial en el menor tiempo posible. Para lograrlo se han establecido las metas enumeradas a continuación:

3. Demostrar para el año 1984 la operación y el rendimiento de una central oceánica que tenga intercambiadores de calor de diseño suficientemente avanzado que permitan determinar su viabilidad económica.

5. Desarrollar intercambiadores de calor económicamente viables por medio de investigaciones, pruebas de laboratorio de las partes internas, y pruebas marinas de componentes mayores centrales prototipos en instalaciones flotantes de gran tamaño.

Llevar a cabo análisis de economías y configuración de las instalaciones necesarias para usos particulares con el propósito de definir tales configuraciones para demostración y uso comercial.

Determinar el impacto de la degradación microbiológica y la corrosión en el rendimiento a largo plazo de los diferentes sistemas opcionales disponibles.

Definir las características ambientales de los lugares de prueba tales como perfiles de corrientes y temperaturas, fuerzas del viento y de las mareas, ecología y otros.

Evaluar posible impacto ambiental de la central en las temperaturas del océano, la salinidad, la ecología y el clima local.

Evaluar los procesos industriales de productos que requieren grandes cantidades de energía en su fabricación para determinar su rendimiento y confiabilidad en un medio ambiente marino.

8. Adaptar y desarrollar la técnica de los cables eléctricos submarinos y otros artefactos de suministro submarino.

Las etapas más importantes en el programa son las siguientes:

#### 1. Construcción y prueba de

Intercambiadores de calor con capacidad para uso en centrales de un megavatio eléctrico a mediados del año 1979. La prueba se realizará en una barcaza existente. 2. Construcción y prueba de una central de cinco megavatios eléctricos para el año 1980. La prueba se realizará en una barcaza existente. Construcción y prueba de una central de 25 megavatios en forma de módulo sencillo para el año 1983. Este módulo estará montado en una estructura especial con capacidad para aceptar tres módulos adicionales, los cuales serán añadidos para el año 1985 aumentando la capacidad hasta un máximo aproximado de 100 megavatios. El modelo de demostración de 100 megavatios será el prototipo para las centrales comerciales. Cada módulo de 25 megavatios podrá incorporar diferentes diseños de componentes de tal modo que se obtenga el mayor conocimiento del proyecto. Entre cada etapa mayor, se cubrirá un número de etapas intermedias para resolver problemas y evaluar alternativas que le darán forma definida a la central prototipo. Hasta el presente se ha decidido que la primera central de demostración será para producir electricidad. Estará montada sobre una estructura flotante, se utilizará el ciclo de 160 con intercambiadores de calor del tipo de tubos y el fluido termodinámico será amoníaco. El programa de desarrollo está basado en la premisa de que no se necesitan descubrimientos de mayor envergadura para llevarlo a su total realización. Todos los componentes de una central oceano-térmica son familiarmente

conocidos en los diferentes campos de la ingeniería. Lo que se requiere es adaptarlos a estos usos nuevos y especializados que requieren innovaciones en diseño, fabricación y utilización. El caso particular de los intercambiadores de calor requiere investigación científica profunda para resolver el problema planteado por la corrosión y la degradación microbiológica de las superficies intercambiadoras de calor. En otros casos como la turbina para operar con vapor de amoníaco y el cable eléctrico submarino para traer

La energía a tierra, se refiere al trabajo de desarrollo y prueba a partir de sistemas conocidos.

---Página en blanco---

En los casos del generador y las bombas de agua solo se requiere adaptarlos al uso particular. Los casos de las válvulas, tanques y los conductos para agua de mar caliente (de superficie) no requieren desarrollo alguno, ya que el equipo corriente puede satisfacer estas necesidades.

En el año 1967, la Autoridad de las Fuentes Fluviales de Puerto Rico llevó a cabo un estudio para evaluar la viabilidad energética del gradiente de temperatura entre la superficie y las aguas de profundidad a varias millas al Este de la Isla. El estudio dio como resultado una serie de datos sobre el posible flujo termodinámico a utilizarse y las dimensiones de los diferentes componentes de una central de demostración. Este estudio, obviamente adelantado a su época, representa los primeros esfuerzos para utilizar esta enorme fuente de energía en Puerto Rico.

Recientemente, el Departamento de Ciencias Marinas del Recinto Universitario de Mayaguez de la Universidad de Puerto Rico realizó un estudio para evaluar la viabilidad energética y el impacto ambiental de la operación de una central oceánica-térmica en un lugar a pocas millas de la costa sureste de Puerto Rico. El estudio, realizado bajo la dirección del Dr. Donald K. Atwood demostró que el sitio (Punta Tuna) tiene excelentes características para la operación de tal planta. A profundidades de 1,000 metros, diferencias de cerca de 25°C se pueden medir.

---Página en blanco---

Según los investigadores, entre todos los sitios investigados, Punta Tuna ofrece las mejores características para instalar una central en tierra firme (Ver Figura 5). El Centro para Estudios Energéticos y Ambientales de la Universidad de Puerto Rico ha estado dando seguimiento cercano a este proyecto con el propósito de participar en los estudios que se estén realizando. A principios de mayo de 1977, el Centro y la Autoridad de las Fuentes.

Fluviales enviaron una carta con calificaciones para participar en un proyecto de construcción y operación de un tubo para estudiar corrosión y degradación biológicas en un sitio a escogerse entre Puerto Rico e Islas Vírgenes. De todas las formas en que está disponible la energía solar, la oceánica-térmica es posiblemente la de mayor beneficio desde varios puntos de vista. Se puede caracterizar porque está disponible día y noche, permite extraer energía en el orden de cientos de megavatios con instalaciones de tamaño moderado, el impacto ambiental parece ser de poca magnitud y no requiere descubrimientos científicos de mayor envergadura para su desarrollo inmediato. Podemos decir que para todos los fines prácticos, los mares son el almacén natural de mayor capacidad de energía solar en nuestro planeta. Por tal razón, las centrales oceánico-térmicas podrán operar como grandes unidades de carga básica y no estarán sujetas a la periodicidad de la radiación solar diaria y a la inconsistencia de los vientos ni adolecen de las

desventajas que tienen otras formas de energía por ser dispersas. La utilización principal de las centrales oceánico-térmicas es en la generación de electricidad, en la fabricación de productos que requieran mucha energía tales como agentes químicos (amoníaco), combustibles (hidrógeno) y metales (aluminio) y otras. Usos adicionales incluirán la promoción de maricultura por medio de los nutrientes (fosfatos y nitratos) que se encuentran en las frías aguas de profundidad y en la producción de agua potable. Estudios y propuestas demuestran que centrales oceánico-térmicas del orden de 100 a 1,000 megavatios tienen utilización para transmitir energía eléctrica a tierra y para procesos químicos. Las oceánico-térmicas operando en medio del mar sugieren la creación de centros de energía.

Para la manufactura de múltiples productos, Puerto Rico podría obtener la energía necesaria para impulsar su industria. La explotación de los yacimientos de cobre del centro de la isla y la producción petroquímica podrían resultar altamente beneficiados. Con ello conseguiríamos la creación de millones de empleos y la inyección de vitalidad que necesita nuestra economía.

Aun antes de que alcance la etapa comercial, este proyecto puede producir grandes beneficios para nuestra población. Los proyectos prototipo propuestos por Estados Unidos tienen un valor de cientos de millones de dólares y necesitan de tres recursos que nosotros poseemos en abundancia: mano de obra, personal técnico y facilidades para construcciones en hormigón. Las plataformas flotantes, al igual que las estructuras basadas en tierra firme, son mayormente de hormigón. Las flotantes son de tamaños equivalentes a las plataformas de exploración petrolera con diámetros de cerca de 400 pies y que extenderán gigantescos tubos hasta más de 2,000 pies de profundidad. Estos tubos son del orden de 100 pies de diámetro con paredes de 2 a 3 pies de hormigón y fabricados en secciones de 200 pies de longitud. Por su propia naturaleza, las plataformas flotantes tienen que ser construidas en astilleros navales para luego ser flotadas y llevadas al mar. Puerto Rico podría convertirse en un centro de fabricación de tales plataformas. Esto debemos considerarlo en respaldo a la propuesta construcción de un astillero de gran tamaño en nuestra isla. Algunos consultores opinan que para aprovechar esta oportunidad, Puerto Rico tiene que delinear una estrategia apropiada para atraer proyectos de educación, investigación y demostración en energía térmica oceánica.

También opinan que es necesario atraer las organizaciones comerciales, industriales y profesionales necesarias para dar respaldo y aprovecharse de las centrales de tamaño comercial. El aspecto económico de la operación de centrales oceano-térmicas...

Las de gran tamaño fueron objeto de un estudio completado a principios de 1976. Debido a la falta de historial previo sobre costos de capital y operación, el estudio fue llevado a cabo bajo bases muy conservadoras usando los datos más recientes para aquel tiempo. El estudio comparó una central oceánico-térmica con una convencional de petróleo. No se hicieron comparaciones con carbón o nuclear debido a que estos últimos son poco frecuentes en las regiones tropicales donde posiblemente se instalen las primeras centrales oceánico-térmicas. El petróleo es de uso mucho más común en tales regiones. Se usó como referencia el tamaño de 100 megavatios y se dejaron como variables los costos de capital de la central oceánico-térmica contra los costos de petróleo de la convencional. La Figura 6 presenta una curva de costos a la par entre una y otra central. La base de comparación está dada en la tabla que aparece en la misma figura. Tomando como referencia la cantidad de \$13 por barril de petróleo, la curva indica que el costo a la par de la

oceánico-térmica es de \$1,400 por kilovatio de potencia. Al momento del estudio tal costo fue calculado en \$2,600 por kilovatio, lo cual resulta no económico, pero...

Usando intercambiadores de calor de aluminio se hicieron estimados que bajan tal costo a \$1,120 por kilovatio, lo cual hace a las centrales oceánico-térmicas más económicas que su equivalente de petróleo. Energía Solar El año pasado el Gobierno Federal decidió construir una caldera solar para producir 10 megavatios de electricidad. La planta solar consta de una torre con una caldera de agua rodeada de una hilera de espejos los cuales se ajustan periódicamente para reflejar la energía solar en la caldera. Al calentarse el agua se produce vapor, el cual acciona una turbina generador donde se produce electricidad. Esta operación...

Ocurre exclusivamente de día. En Puerto Rico, probablemente tenemos 2,800 horas al año de energía solar, y en promedio esta llega a 2,000 kilovatios hora por metro cuadrado en un año. Lo anterior representa una intensidad alta. En los Estados Unidos hay unos lugares donde la intensidad es más alta que aquí, pero aquí tenemos más horas de exposición solar. El problema principal de este concepto es que se necesitan unas grandes cantidades de terreno y, en Puerto Rico no tenemos mucho terreno. En el caso de la energía océano-térmica no estamos utilizando terrenos, usamos el mar; en otras palabras, la energía océano-térmica tiene una mayor perspectiva para nosotros. Se sometieron nueve (9) propuestas al Departamento Federal de Energía para la instalación de la caldera solar que describimos. Una de las propuestas fue de la Autoridad de las Fuentes Fluviales para instalar la caldera solar en Rincón. Parte de la propuesta incluía donar la tierra y en adición se ofreció un millón de dólares para el proyecto, pero no nos otorgaron el proyecto ya que California, aunque no tiene tanta energía solar, ofreció \$10 millones. Nosotros no podíamos ofrecer diez millones de dólares ya que podíamos comprar una turbina de gas para producir 10 megavatios de electricidad por un millón de dólares. O sea, el proyecto es de demostración y la Autoridad no puede invertir esa cantidad de dinero. Es de suma relevancia el desarrollar profesionales capacitados para desarrollar la tecnología solar en Puerto Rico. Además, se destaca el aspecto político de hacer el "lobby" y poder conseguir los proyectos. Otro aspecto importante de la energía solar es su utilización directa en celdas fotovoltaicas para producir la energía eléctrica. Para estos fines se necesita una inmensa cantidad de terreno y su costo todavía está bien alto. Las celdas fotovoltaicas valen alrededor de \$20 por vatio y para que sean competitivas tienen que bajar a \$0.50 el vatio. Si nosotros fuéramos a producir energía eléctrica.

Hoy en día en Puerto Rico, utilizando las celdas fotovoltaicas, tendríamos que aumentar la tarifa de la electricidad por un factor alrededor de 50 veces; por lo tanto, hay que esperar que baje el costo para poderla utilizar. Definitivamente, la energía solar es la que tiene un mayor potencial para resolver a largo alcance el problema energético de Puerto Rico. Tenemos la bendición de estar geográficamente bien localizados. Tan pronto como la energía solar se desarrolle comercialmente, debemos ser de los primeros en utilizarla. A largo plazo, si se desarrolla la energía solar, podemos tener un gran futuro porque podríamos tener energía abundante a precios razonables y desarrollar nuevas industrias.

Evaluemos el otro aspecto, la otra fuente de energía que tiene un gran potencial a largo plazo: los reactores de fusión. La fusión se produce utilizando el deuterio que hay en el agua de mar. Un pie cúbico de agua de mar puede producir en un reactor de fusión un equivalente energético de 10 toneladas de carbón, que es igual a 280 años de petróleo. ¿En qué se basa específicamente la fusión? Cuando una partícula de deuterio, que es hidrógeno pesado, o tritio, chocan, ocurre la

fusión, y se produce un neutrón, helio y grandes cantidades de energía. Como postuló el Dr. Albert Einstein en su famosa ecuación: La energía es igual a la masa por la velocidad de la luz al cuadrado, existe en la reacción de fusión un diferencial de masa y este diferencial es el que nos produce las grandes cantidades de energía. Así que la fusión tiene un gran potencial. Los neutrones que escapan al ocurrir la fusión contienen el 80% de la energía generada. Así que si se detienen en un moderador, este último absorbe la energía. El moderador o líquido caliente se puede utilizar para producir vapor y mover un turbogenerador. ¿Cuál es el problema vital de la fusión? En estos casos nos confrontamos con el mismo concepto que se...

Se utiliza en la bomba de hidrógeno, aún no se ha podido llevar a cabo en una reacción controlada en un laboratorio. ¿Por qué? Esto se debe a que para poder reaccionar, tiene que existir un plasma, el cual es un gas a altas temperaturas ionizadas sujeto a ondas eléctricas y magnéticas, y en este, las partículas que estén ionizadas o cargadas tienden a repelerse. Consecuentemente, hay que buscar alguna manera de unir estas partículas y el problema es que con las temperaturas del orden de 10 millones de grados centígrados, no hay materiales que resistan esas temperaturas. Por lo tanto, se trata de unir estas partículas por medio de campos magnéticos un tiempo suficiente para que puedan reaccionar al deuterio y al tritio en el plasma, y ocurrir la reacción de fusión. Cuando se lleva a cabo en el laboratorio esta reacción hasta ahora, se está invirtiendo más energía que la energía que se recobra. Es decir, hay que lograr conseguir una alta densidad de plasma y una alta temperatura y mantener las partículas juntas el suficiente tiempo para que ocurra el evento de fusión. Ciertamente es difícil conseguir la ocurrencia de las tres cosas juntas. Hasta ahora se ha podido conseguir las temperaturas en unos experimentos y en otros ha sido posible conseguir las densidades y en otros ha sido posible mantener el tiempo suficiente, pero no ha sido posible conseguir hasta ahora que simultáneamente ocurran las tres condiciones. Analicemos, aunque brevemente, cuatro prototipos que se están investigando para conseguir la fusión. Uno es el "Tokamak", que esencialmente es como una dona donde el plasma está en el medio y se rodea de imanes. Se parece mucho al "theta-pinch", donde el plasma también está en el medio y rodeado de unos imanes. En la primera, el imán está en un área específica, y en la segunda, el imán está todo alrededor. Los rusos han obtenido los desarrollos mayores con el "Tokamak". Otro prototipo, el "mirror machine", el cual es como una línea recta en donde el plasma se maneja por unos

"Magnetos muy fuertes en los terminales, de tal manera que previenen que se escape hacia afuera. Últimamente se ha conseguido un buen desarrollo utilizando los rayos láser ya que en un momento dado, se puede obtener las densidades y temperaturas necesarias para que ocurra la reacción de fusión.

Estos son los cuatro prototipos principales, en los cuales se está tratando de desarrollar la fusión. De las asignaciones monetarias presentes para desarrollar la fusión: el 65% es para el 'Tokamak', el 15% es para el "theta-pinch", el 15% es para el "mirror machine" y un 5% se utiliza en otros conceptos. Se está construyendo en la actualidad en Princeton un Tokamak que va a estar operando para el 1981. Este experimento vale 280 millones de dólares y procura probar que es factible tener una reacción de fusión. Una vez lograda esa reacción, hay que construir una planta prototipo experimental, para luego considerar el aspecto comercial de la empresa. Ya se habla de sus posibilidades comerciales para el año 2030. Insistimos en afirmar que esta empresa representa la posible producción de cantidades enormes de energía. Se espera que para el año 1980 los Estados Unidos logren rebasar a los rusos, los japoneses y a Europa en cuanto a realizar

una reacción de fusión donde se produzcan 10 megavatios termales de energía. Hay planes de construir un reactor experimental de 100 megavatios para la década del año 1990 y tener algunas demostraciones comerciales para el año 2000. Mucha gente dice que es muy optimista la materialización de la empresa descrita.

Ciertamente, su realización cuesta muchos millones de dólares y, en verdad, son los países que tienen los pertinentes recursos, como Rusia, Estados Unidos, Japón y otros, los que pueden acometer tan costosas iniciativas. Definitivamente va a tomar unas décadas en desarrollarse la fusión pero tiene un potencial inmenso. Conclusiones: No debemos olvidar que la solución a los problemas energéticos de Puerto Rico está en desarrollar por medio..."

De programas regionales y multinacionales, otras fuentes energéticas autóctonas para generar electricidad como son la energía solar, eólica, el gradiente oceánico y la biomasa. La energía océano-térmica es la mejor alternativa energética a largo plazo para Puerto Rico y el Caribe. Debemos concentrar nuestros esfuerzos en el desarrollo de esta opción. También podría ocupar especial importancia la utilización del bagazo de caña y la basura para producir energía. Todas estas alternativas están siendo estudiadas al presente en Puerto Rico, principalmente por el Centro de Estudios Energéticos y Ambientales de la Universidad de Puerto Rico. Si los países industrializados desarrollan la fusión, esta también ofrece un gran potencial para nuestra Isla. Es significativo mencionar que Puerto Rico ha mantenido su liderato en el Caribe en el desarrollo de fuentes alternas de energía. En el 1957 se estableció en Puerto Rico el Centro Nuclear de Puerto Rico, antecesor del Centro de Estudios Energéticos y Ambientales.

---Página en Blanco---

Puerto Rico fue el primer país en el Caribe y Latinoamérica donde se generó electricidad experimentalmente en una central nuclear. Esto ocurrió en la Central BONUS en Rincón. Como les indiqué, el próximo año se instalará por el Departamento Federal un molino de viento para generar electricidad en Culebra, Puerto Rico. Este molino generará hasta 200 kilovatios eléctricos y será operado por la Autoridad de las Fuentes Fluviales. También la Universidad de Puerto Rico está llevando a cabo unos programas investigativos en la Sub-estación de Lajas con relación a la siembra de caña de azúcar y otras plantas para producir biomasa con miras a convertirlas en energía. Este programa junto a otros en Brasil están a la vanguardia en este desarrollo. En adición, próximamente el Centro de Estudios Energéticos y Ambientales comenzará a diseñar un sistema de concentradores fotovoltaicos solares para producir energía eléctrica. Este sistema será uno de los más modernos en el mundo para estos fines.

1. Conversión de acción sobre Sora" Producto de Hidrógeno con Combustible de Cetona
2. Curso Holística
3. Proyecto Interagencial para Obtener Energía
4. Conversión de calor Solar en Energía Eléctrica
5. Conservación de Energías
6. Estudios sobre Hierbas Tropicales
7. Estudios sobre Economía
8. Estimulador de Absorción por acción de Energía Solar
9. Investigación sobre Energía Sostenible

## 10. Fuentes de Energía en Puerto Rico

INVESTIGADORES PRINCIPALES: UPRAP y UNIV. de Illinois, PRAM, FA Marrero, UPR, ROM, RAL Singh, OFICINA ESTATAL DE ENERGÍA, F. Castellón,

PROYECTO 23. Estudios sobre Acción Ambiental en Petroquímica

24. Desulfurización de Minas de Petróleo

25. Producción de Gases de Azúcar y Otras Fuentes Renovables

26. Estudio sobre Recurso Continuo de Energía

27. Estudios sobre Economía.

28. Control de Batería en los Ensayos Electroacústicos en Puerto Rico

29. Diseño y demostración de conexión de "GEEA Guanes Conectores Solares y células SStove'teveas"

30. Panel de Marcas de Transportes

31. Estudios de diagnostico acústico para detectar aguas subterráneas y subproductos. Valor económico

32. Producción de microalgas por un horno solar

33. Estudios de segmentos oceánicos para el desarrollo de energía del mar (corriente)

34. Estudios sobre biogás marino como fuente de combustible

35. Diseño de un sistema solar

36. Desarrollo de un sitio web para el proceso del Plan Estratégico de Energía y Tecnología

37. Servicio de Extensión Energética para escuelas superiores

PRINCIPALES INVESTIGADORES:

38. G. Consten, CEEA + CEEA A.

39. G. Alexander, UPR-RUM

40. G. Alexander, UPR-RUM Werner,

41. U. Ortabast, A. Block, C&Ch

42. M. Doin, CEA

43. U. Ortabast, CEEA

44. UPR-RUM Re

45. M. Intarte, CEEA

46. CHER

47. G. Goldman, CEEA

48. E. Werner, EEA

49. CEEA, Corp, Bacarét, Univ.

50. Oficina de Energía, OACO, CEEA, COTACO y otras Agencias Gubernamentales y Privadas

51. B. Bonnet, Director, CEEA

52. CHEN, CEEA, UPR