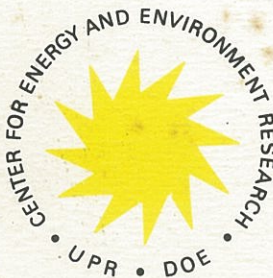


CEER - X48
Noviembre 1977

LA CRISIS DE ENERGIA Y SUS ALTERNATIVAS:
SOLUCIONES A CORTO PLAZO Y SOLUCIONES A LARGO PLAZO

Dr. Juan A. Bonnet, Jr.



CENTER FOR ENERGY AND ENVIRONMENT RESEARCH
UNIVERSITY OF PUERTO RICO — U.S. DEPARTMENT OF ENERGY

**CRISIS DE ENERGIA Y SUS ALTERNATIVAS:
SOLUCIONES A CORTO PLAZO**

PRIMERA PARTE DE CONFERENCIA DICTADA POR

**Dr. Juan A. Bonnet, Jr.
Director Ejecutivo Auxiliar
Planificación e Ingeniería
Autoridad de las Fuentes Fluviales de P.R.**

en la

**Universidad de Puerto Rico
Recinto de Río Piedras**

el

29 de noviembre de 1977

CONFERENCIA

29 de noviembre de 1977

PARTE I: CRISIS DE ENERGIA Y SUS ALTERNATIVAS: SOLUCIONES A CORTO PLAZO

Por

Dr. Juan A. Bonnet, Jr.*
Director Ejecutivo Auxiliar
Planificación e Ingeniería
Autoridad de las Fuentes Fluviales de P.R.

I. Introducción

Muy buenas tardes. Es para mí un gran placer tener la oportunidad de estar aquí esta tarde en el Recinto Universitario de Río Piedras de la Universidad de Puerto Rico, para hablarles sobre la Crisis de Energía y sus Alternativas. Durante la tarde de hoy limitaremos nuestra discusión a algunas soluciones a la crisis de energía a corto plazo y mañana continuaremos con una presentación similar donde hablaremos de las soluciones a largo plazo.

Para hablar sobre la "Crisis de Energía en Puerto Rico" es necesario que, primeramente, entendamos con claridad cual es la problemática de energía mundial y cómo ésta afecta a los Estados Unidos y a Puerto Rico. De esta manera podremos visualizar más adelante las soluciones a corto plazo a la problemática energética de nuestro Terruño.

Recordemos que nosotros vivimos en un planeta finito. Muchas veces creemos que nuestros recursos son infinitos y no lo son. La verdad es que el mundo es como una nave espacial viajando por el espacio y tomó millones de años en formarse. Algunos de los recursos que nosotros estamos utilizando al presente les tomó al mundo

*Al presente el doctor Bonnet es Director del Centro para Estudios Energéticos y Ambientales de la Universidad de Puerto Rico.

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 cogió 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.

II. 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.

Ahora bien, es conveniente mencionar cómo es que el mundo ha llegado a la situación energética por la cual atraviesa. Según podemos observar en la Figura 1, para el 1850 el 90% de las necesidades de energía se satisfacían quemando madera. En el 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 entonces, hasta que 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 de 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 sólo 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 el Arabia Saudita del carbón. Sin embargo, aproximadamente el 74% del consumo de energía en los Estados Unidos proviene del petróleo y el 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 éste han sido desarrollados por diferentes organizaciones y éste aquí se demuestra

USO ENERGÍA EN E.U. - DATA HISTÓRICA

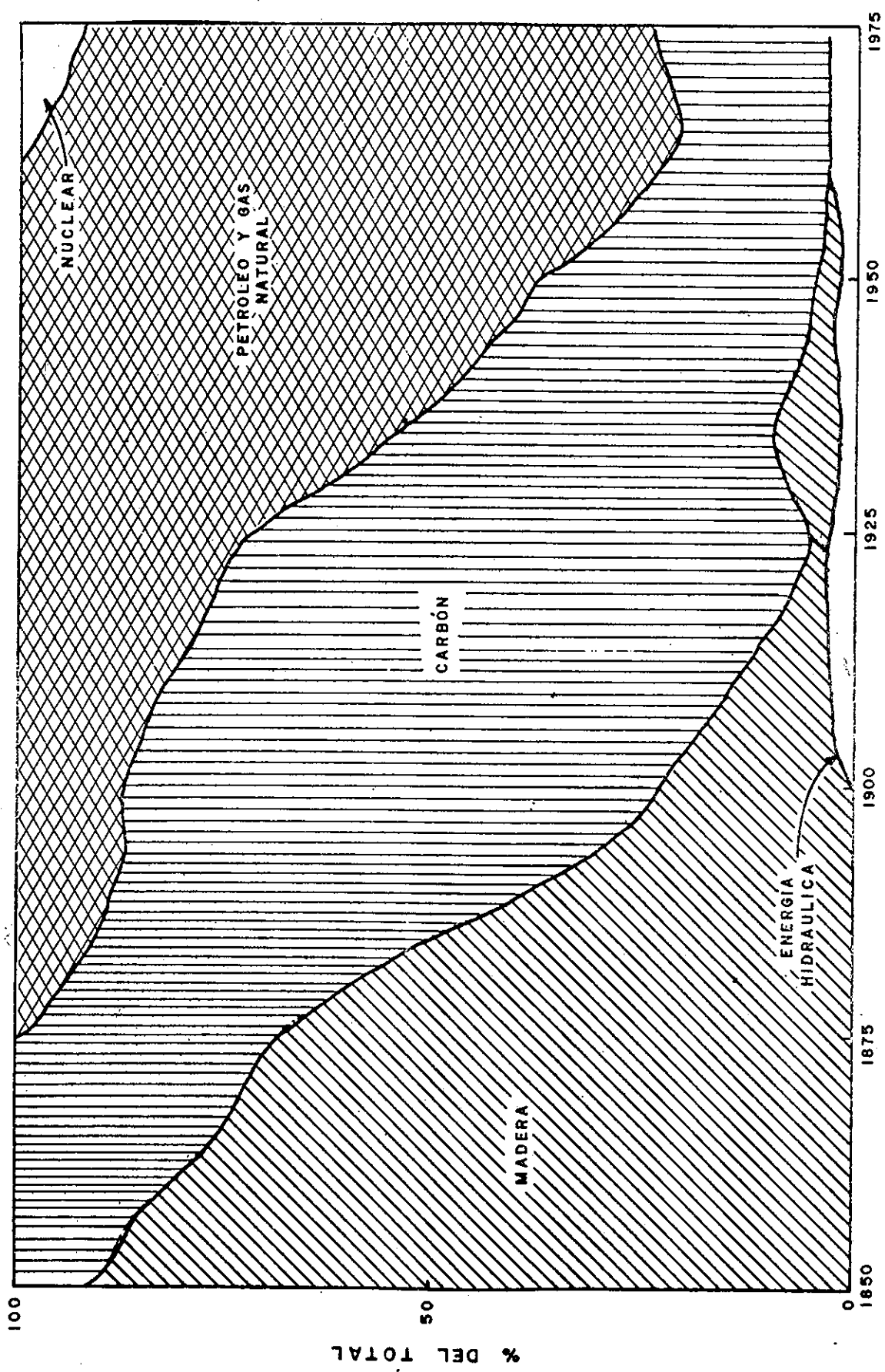


FIGURA 1

RESERVAS MUNDIALES DE COMBUSTIBLES
 FÓSILES MÁS URANIO 235
 1975

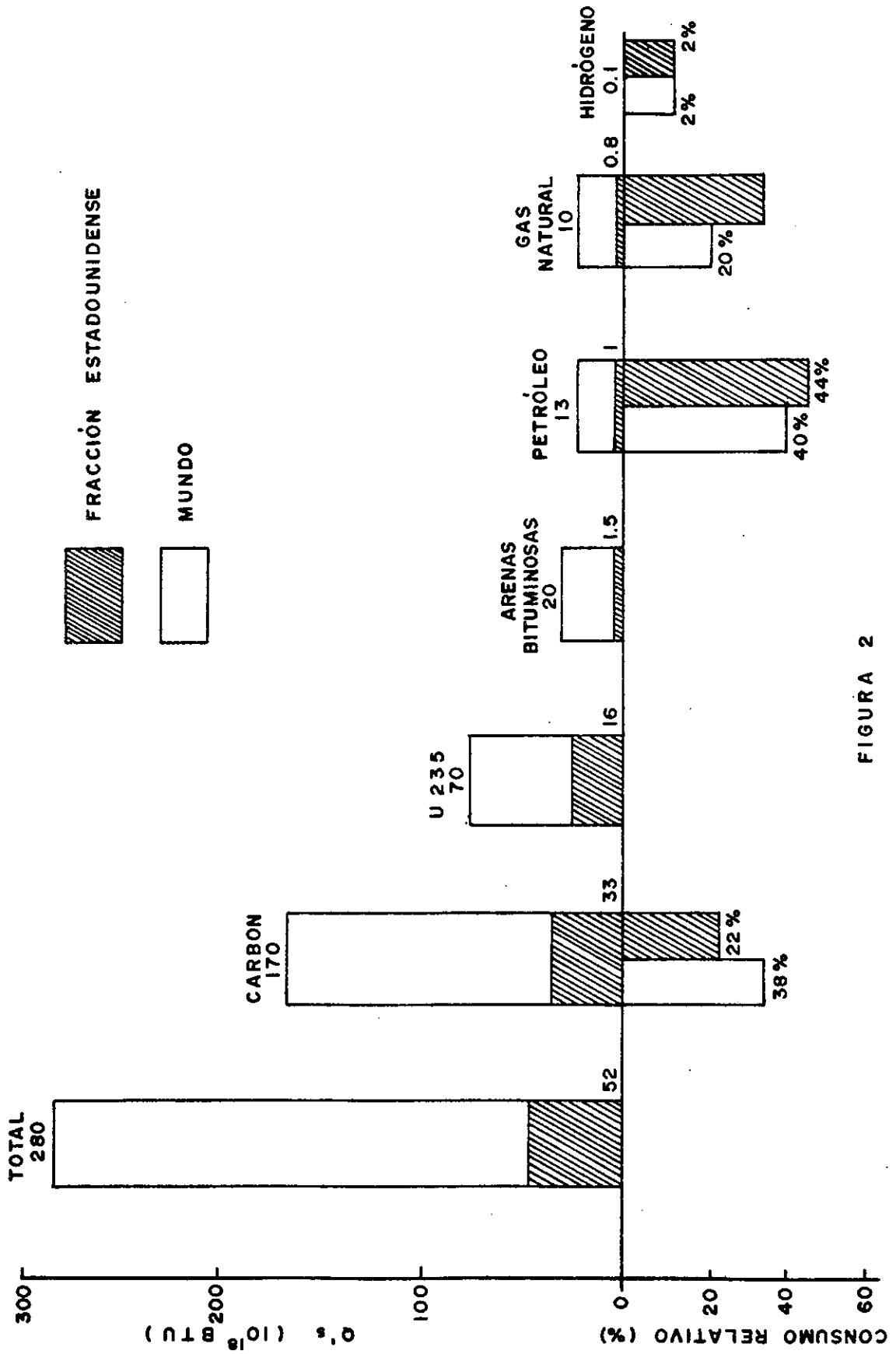
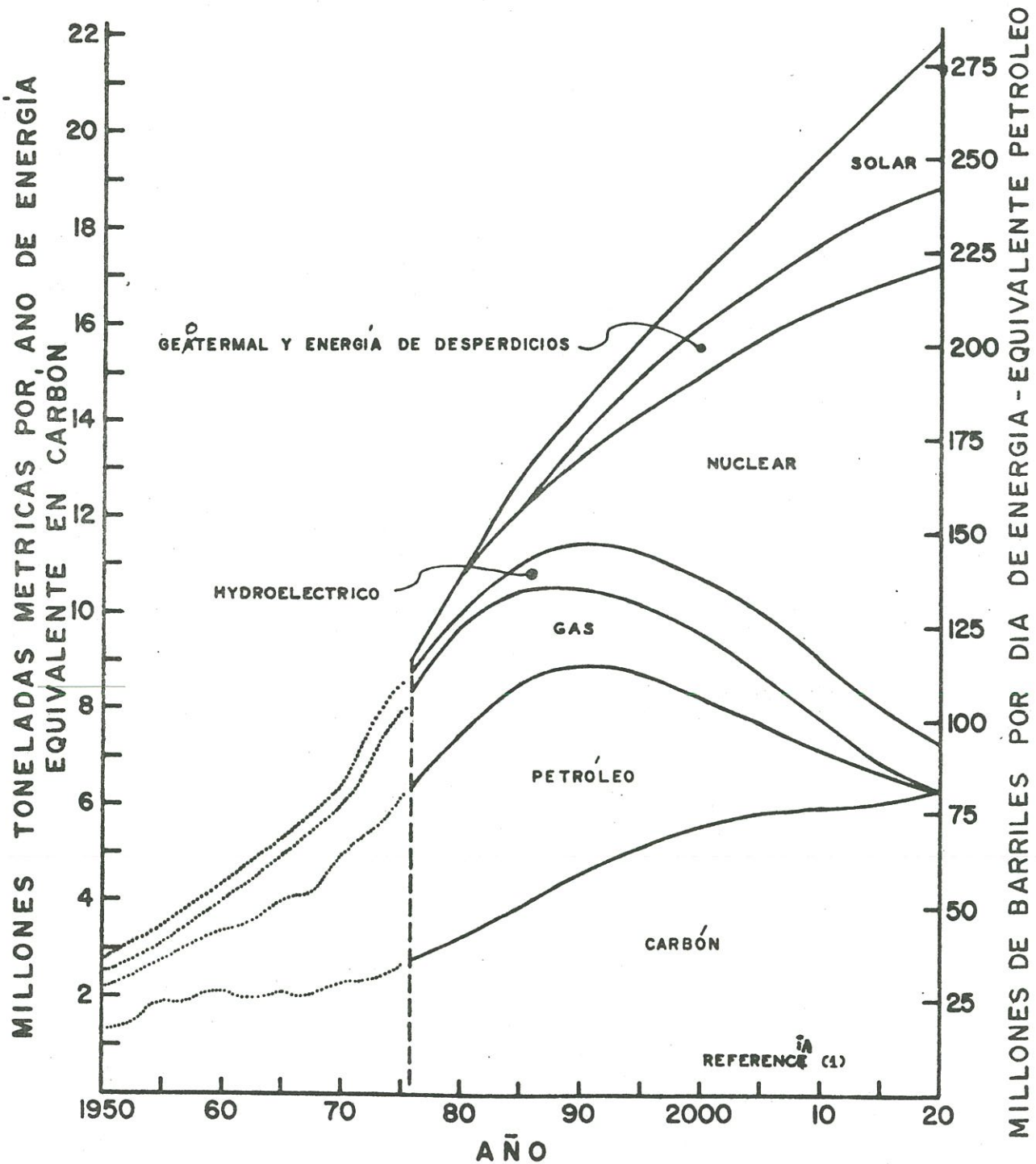


FIGURA 2



USO MUNDIAL ENERGÍA

FIGURA 3

como ilustración, ya que todos los estudios llegan básicamente a escenarios similares a éste. De esta forma también podemos apreciar la necesidad de utilizar el carbón y la energía nuclear a plena capacidad en lo que se desarrollan otras fuentes como son la radiación solar y sus derivados, tales como la energía del viento y la océano-termica. Esta última utiliza las diferencias en temperatura entre la superficie del océano y sus profundidades para producir la electricidad y su potencial para Puerto Rico y el Caribe es inmenso.

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 centenares de años. Mientras tanto, se proveería 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 Estado Unidos se debe reducir el crecimiento anual de demanda de energía a menos de 2% para el año 1985, al presente este crecimiento es de 4.6%, reducir el consumo de gasolina para el año 1985 a 10% bajo el consumo actual, reducir las importaciones de

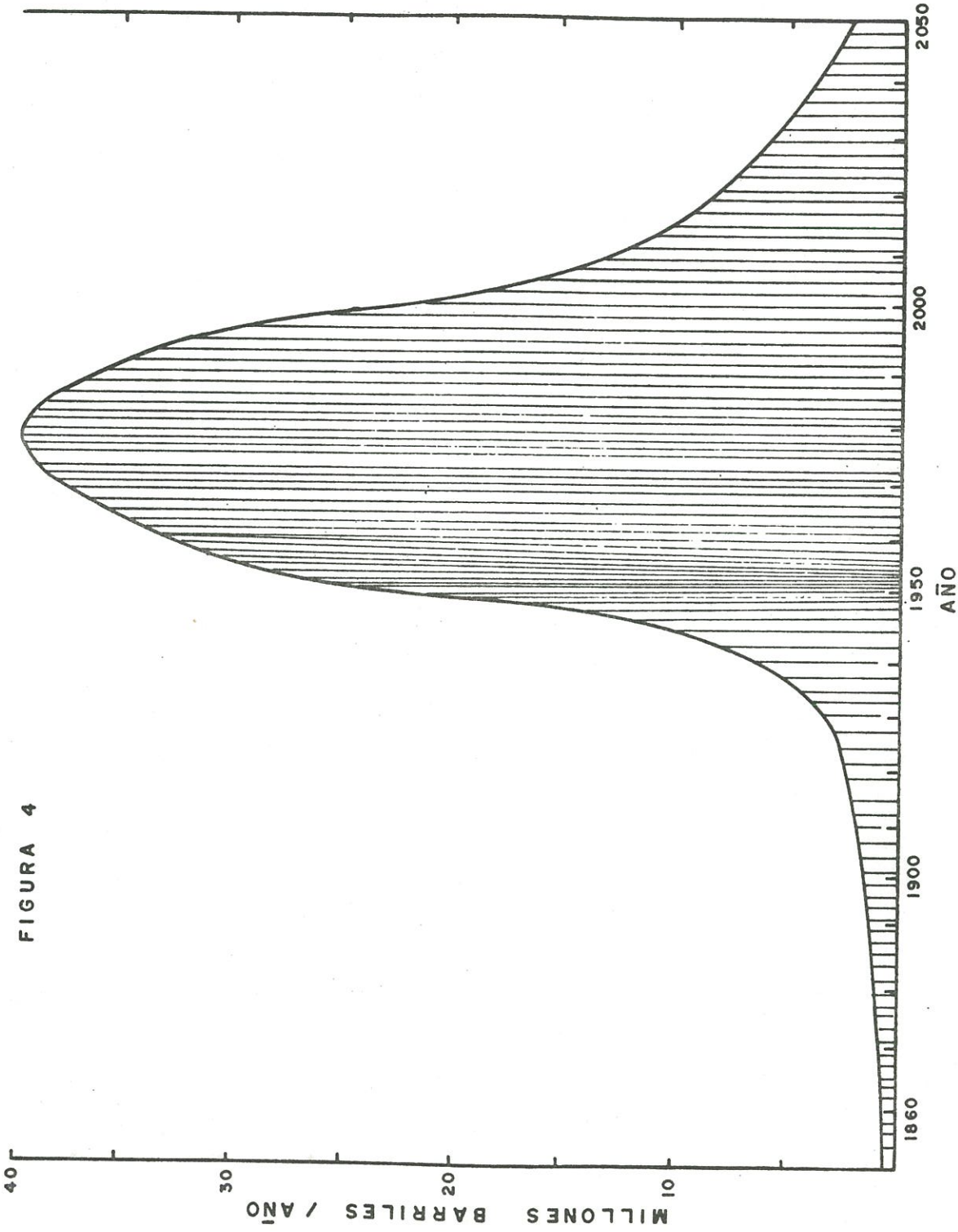


FIGURA 4

ESTIMADO DE PRODUCCIÓN MUNDIAL MÁXIMA DE PETROLEO

RECURSOS ENERGETICOS MUNDIALES
(10¹⁵ BTU)

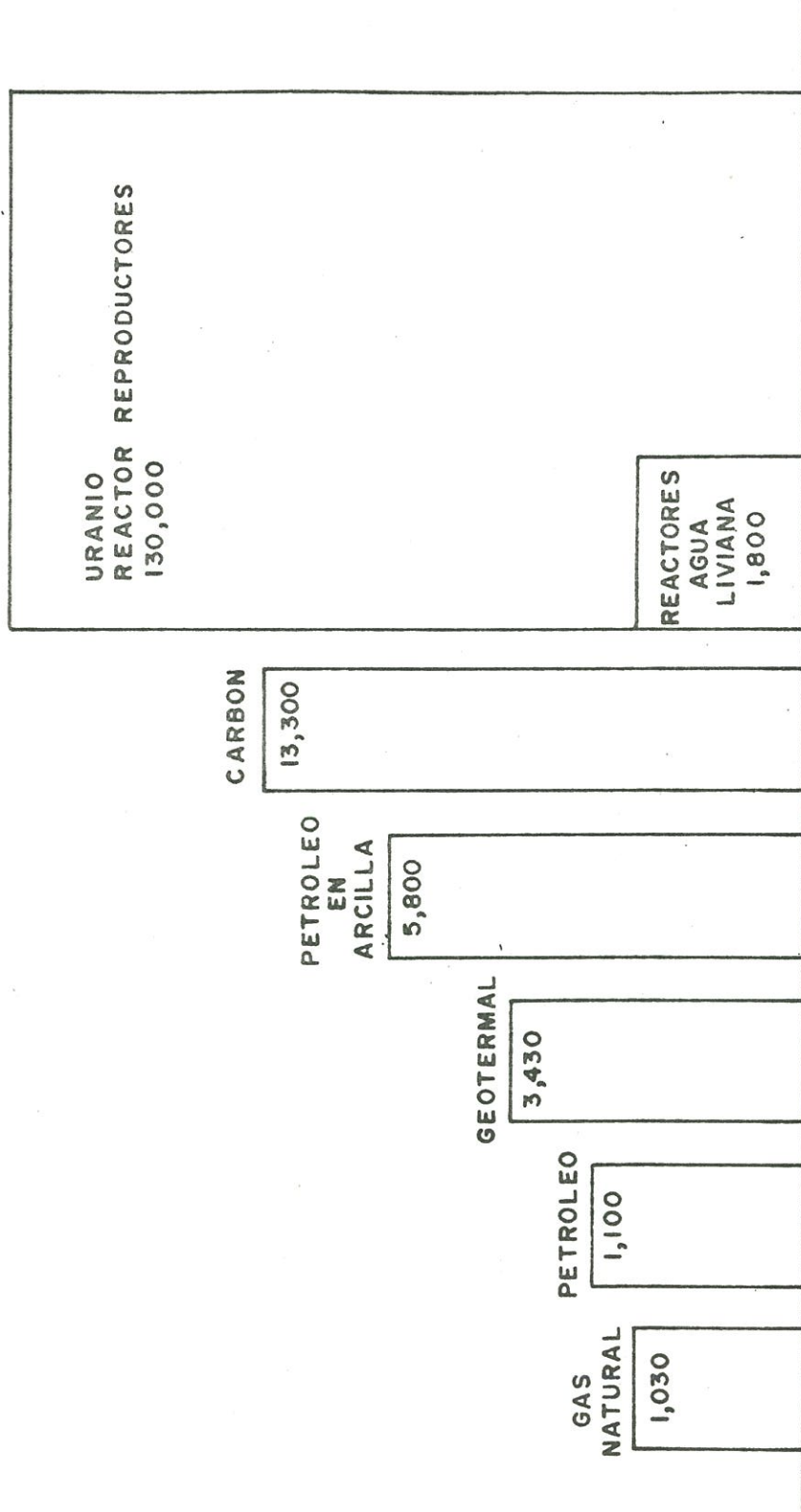


FIGURA 5

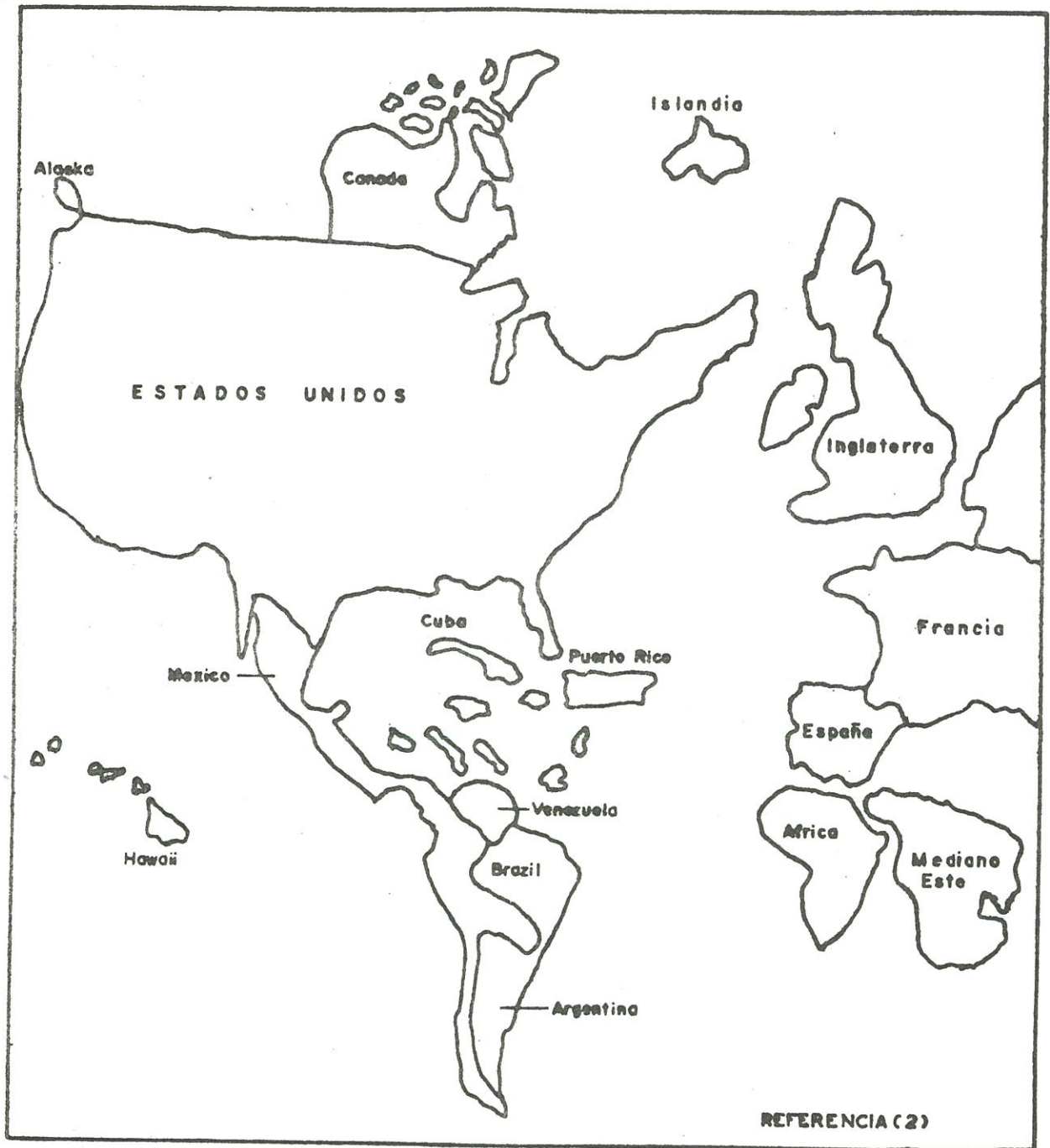
de petróleo de un nivel de 16 millones de barriles diarios a 6 millones de barriles diarios, establecer una reserva estratégica de petróleo de un billón de barriles, aumentar la producción de carbón por más de 2/3 partes para llevarla a una producción anual del billón de toneladas, aislar adecuadamente 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 por energía de Puerto Rico se dirigen a la manufactura, la producción de electricidad para transportación y otros. Ahora bien, el problema energético de Puerto Rico estriba 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.

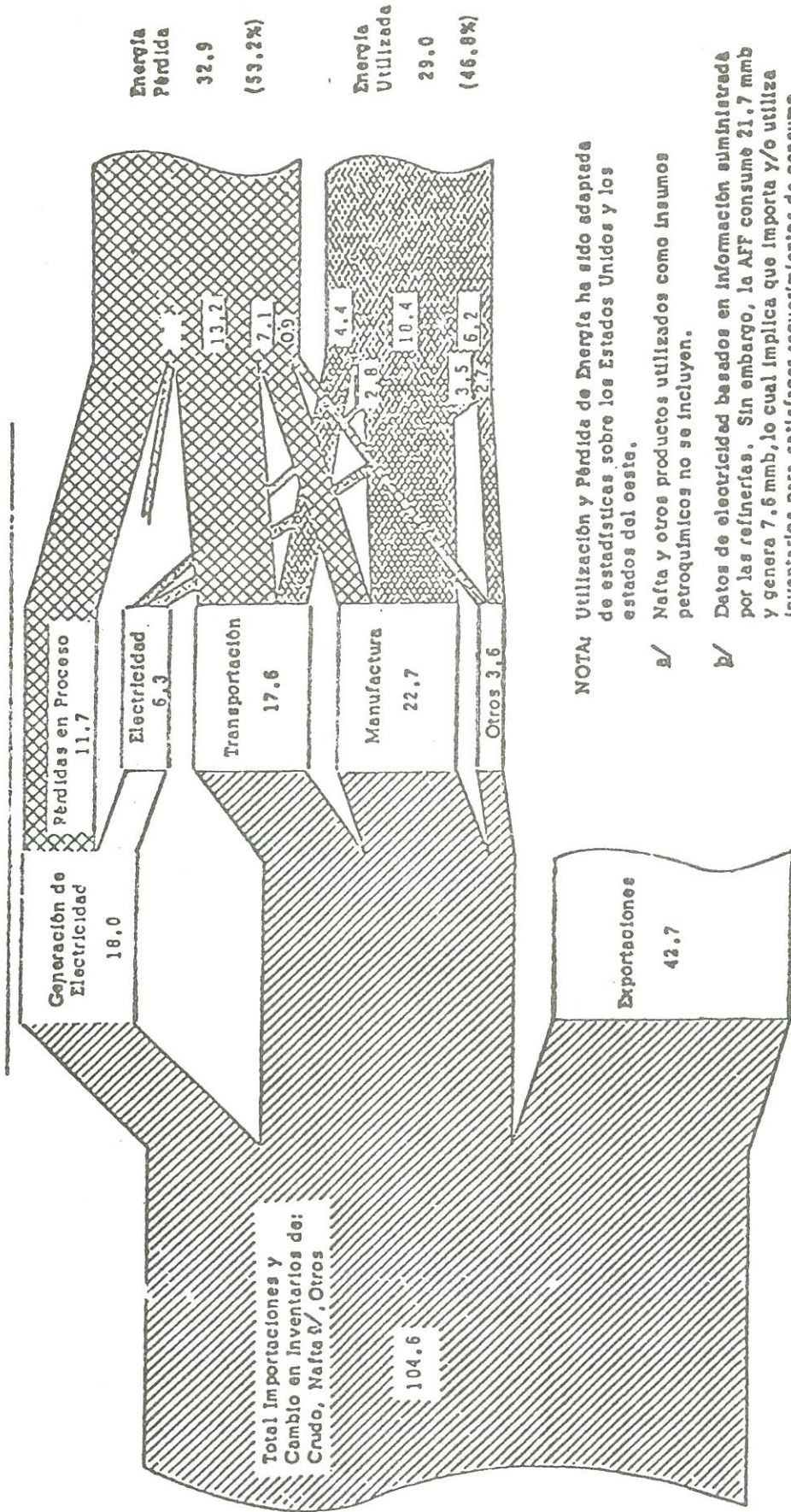
A pesar de su pequeño tamaño, Puerto Rico es el país número 27 entre los países del mundo en cuanto a consumo per capita de petróleo. La Figura 6, donde se ilustra el tamaño de los países en proporción a su consumo de petróleo, nos da una indicación de nuestro alto consumo de petróleo. Pueden notar que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



TAMAÑO DE PAÍSES EN PROPORCIÓN A SU CONSUMO DE PETRÓLEO

FIGURA 6

PUERTO RICO: FLUJO DE PRODUCTOS ENERGETICOS-PETROLEROS Y
 RELACION DE ENERGIA UTILIZADA Y PERDIDA EN LOS PROCESOS
 AÑO NATURAL 1976 UNIDAD/MILLONES DE BARRILES



NOTA: Utilización y Pérdida de Energía ha sido adaptada de estadísticas sobre los Estados Unidos y los estados del oeste.

a/ Nafta y otros productos utilizados como insumos petroquímicos no se incluyen.

b/ Datos de electricidad basados en información suministrada por las refinerías. Sin embargo, la AFF consume 21.7 mmb y genera 7.6 mmb, lo cual implica que importa y/o utiliza inventarios para satisfacer requerimientos de consumo.

Fuente:
 Oficina sobre Asuntos de Combustibles Derivados del Petróleo
 División de Economía y Planificación
 Sección de Análisis Estadístico

FIGURA 7

utilizada y podemos apreciar la necesidad de una mejor utilización de la energía. El Cuadro I provee un resumen de esta información

Como dijimos anteriormente, el petróleo está destinado a agotarse en aproximadamente unos 40 ó 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.

IV. 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 los países exportadores 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

CUADRO I

TABLA - PUERTO RICO : FLUJO DE PRODUCTOS ENERGETICOS-PETROLEROS Y RELACION DE ENERGIA UTILIZADA Y PERDIDA EN LOS PROCESOS AÑO NATURAL 1976 EN MILLONES DE BARRILES

	Flujo de Productos		Relación de Energía	
	Total (mmb)	Porcentaje del Total	Utilizada en los procesos (mmb)	Perdida en los procesos (mmb)
Importaciones y Cambio en Inventarios	<u>104.6</u>			
Crudo				
Nafta				
Otros				
Consumo Sectorial				
Generación de Electricidad	18.0	17.2 %	a/	11.7 a/
Transportación	17.6	16.8 %	4.4	13.2
Manufactura	22.7	21.7 %	18.4 a/	7.1
Otros	3.6	3.4 %	6.2 a/	0.9
Subtotal	<u>61.9</u>	<u>59.2 %</u>	<u>29.0</u>	<u>32.9</u>
Exportaciones	<u>42.7</u>	<u>40.8 %</u>		
Total	<u>104.6</u>	<u>100.0</u>		<u>53.2 % b/</u>

a/ Electricidad utilizada atribuida al sector de la manufactura (2.8 mmb) y al sector denominado otros (3.5 mmb); pérdidas de 1.9 mmb atribuidos a la Manufactura. Datos de electricidad basados en información suministrada por las refinerías. Sin embargo, la AFF consume 21.7 mmb y genera 7.6 mmb, lo cual implica que importa y/o utiliza inventarios para satisfacer requerimientos de consumo. La energía utilizada ha sido adaptada de estadísticas sobre los Estados Unidos y estados del oeste.

b/ Porcentaje computado a base del consumo total de 61.9 mmb.

Fuente:

Oficina sobre Asuntos de Combustibles Derivados del Petróleo
 División de Economía y Planificación
 Sección de Análisis Estadístico
 28 de marzo de 1977

MANUFACTURA SOBREPASA AGRICULTURA

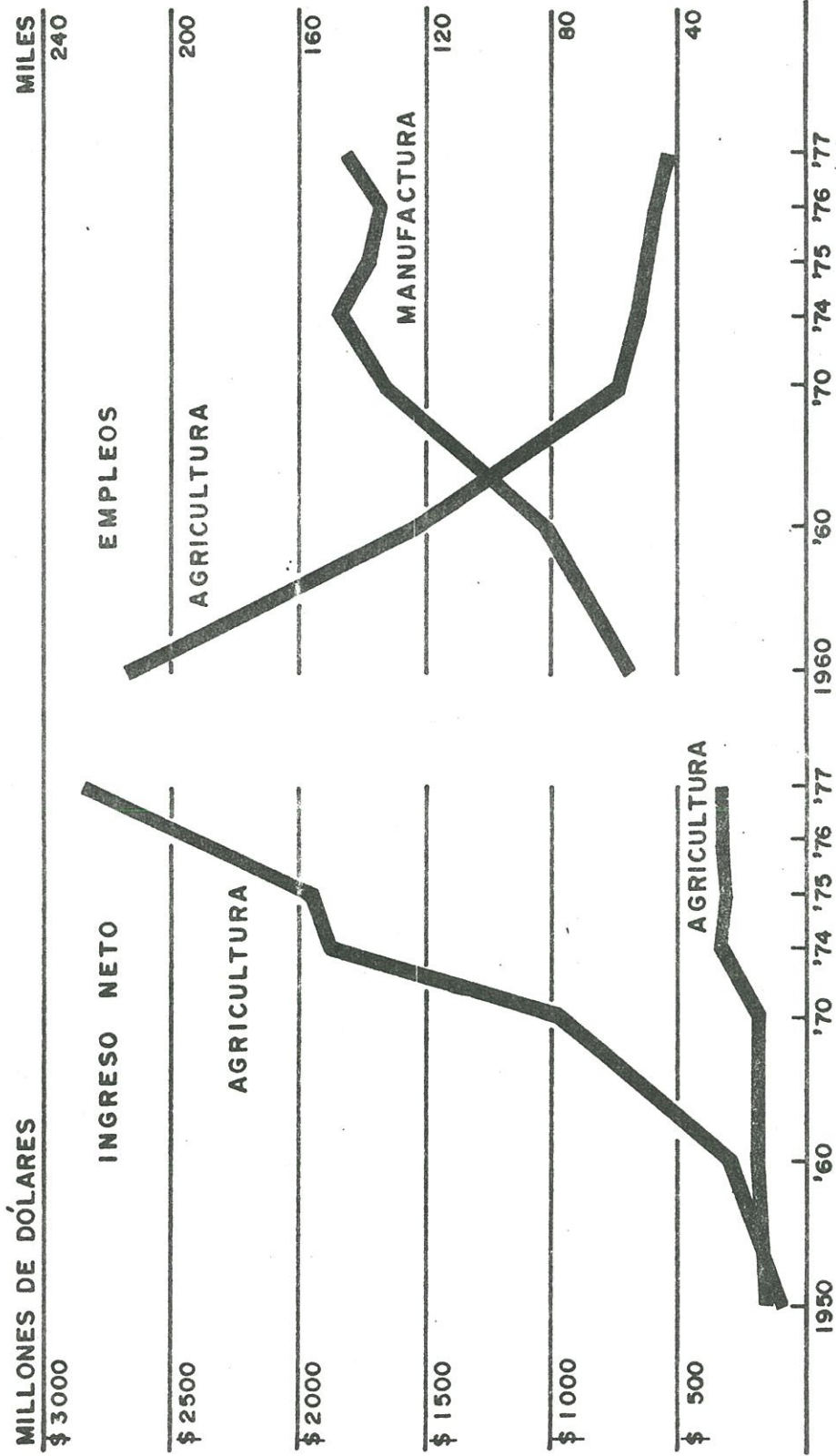


FIGURA 8

CUADRO II
COMBUSTIBLE UTILIZADO POR LA AUTORIDAD DE LAS FUENTES FLUVIALES
PARA GENERAR ELECTRICIDAD

<u>Año Fiscal</u>	<u>Total Gen. (KWH)</u>	<u>Total Barriles de Combustible</u>	<u>Costo Total de Combustible (\$)</u>	<u>Costo Promedio por Barril de Combustible</u>	<u>Ingreso Total</u>	<u>Costo de Comb. con relación a Ingresos (%)</u>
1971-72	10,228,014,000	16,588,974.11	46,877,039.69	2.83	203,079,819.12	23
1972-73	11,778,076,978	20,291,102.83	66,592,733.42	3.28	235,523,025.56	28
1973-74	12,329,308,677	20,222,636.65	146,960,456.76	7.27	342,274,051.82	43
1974-75	12,208,911,244	18,223,161.12	202,176,462.57	11.09	454,105,663.25	45
1975-76	12,349,847,426	20,692,923.66	243,646,517.06	11.77	539,054,929.46	45
1976-77	13,290,462,054	22,565,346.99	301,479,124.56	13.36	605,786,145.80	50
1977-78	13,715,900,000	22,376,000.00	313,555,000.00*	14.01	631,241,000.00	50
1978-79	14,411,700,000	23,395,000.00	335,235,000.00*	14.33	669,959,000.00	50
1979-80	15,211,400,000	24,704,000.00	389,937,000.00*	15.78	746,696,000.00	52
1980-81	16,106,500,000	26,185,000.00	456,097,000.00*	17.42	835,153,000.00	55

* No incluye después de enero 1, 1978 impuesto Gobierno de Puerto Rico de \$1.895/barril

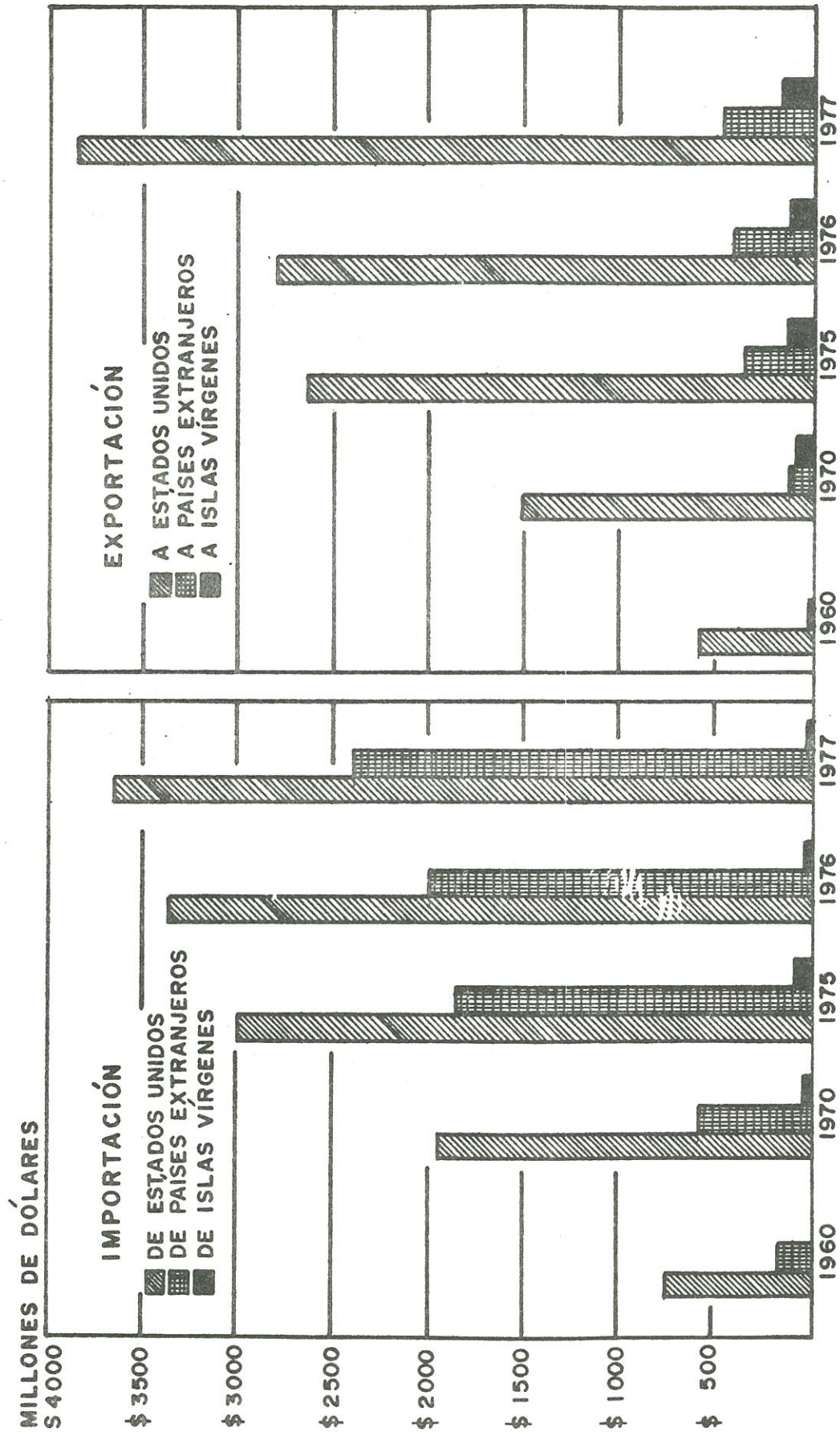
se quema para producir energía eléctrica. También podemos ver proyecciones de lo que pagaremos en el futuro. Pueden notar en estas proyecciones que no se vislumbra reducción en el costo de la electricidad, sino al contrario, seguirá aumentando según el costo del petróleo continué aumentando. Durante 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 terruño 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.

La crisis energética también repercutió 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.

V. Soluciones a Corto Plazo

Ahora vamos hablar sobre fuentes energéticas comerciales que están 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



BALANCE DE LA INDUSTRIA

1960	-\$ 300
1970	-\$ 826
1975	-\$ 1,812
1976	-\$ 2,086
1977	-\$ 1,628

FIGURA 9

CUADRO III

INDICADORES SOCIO-ECONOMICOS Y ENERGETICOS EN ALGUNOS AÑOS FISCALES TERMINANDO EL 30 DE JUNIO

	1950	1960	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1980
Producto Bruto 1954 (millones de dólares)	879	1,473	2,836	2,984	3,186	3,355	3,414	3,390.5	3,430.0	11,009 ^a
Porcentaje Aumento en Relación Año Anterior	7.3	7.6	6.2	5.2	6.2	5.9	1.8	-0.7	1.2	33.0
Producto Bruto 1954, Per Capita (dólares)	399	630	1,044	1,087	1,122	1,153	1,141	1,103	1,081	n.d.
Porcentaje Aumento en Relación Año Anterior	7.0	7.9	5.0	4.1	3.4	2.6	1.0	-3.3	-2.0	n.d.
Población (miles)	2,218	2,360	2,716	2,777	2,868	2,952	3,030	3,121	3,212	3,213 ^b
Fuerza laboral	684	625	765	789	837	858	884	872	890	n.d.
Empleo	596	542	686	700	737	757	775	738	718	n.d.
Desempleo	88	83	79	89	100	101	109	134	172	n.d.
Vehículos de Motor en Uso	60,727	179,657	614,000	686,659	674,051	681,596	738,465	773,742	815,742	n.d.
Número de Vehículos de Motor Inscritos	8,236	25,806	91,178	96,457	106,676	138,086	95,801	72,657	81,669	n.d.
Ventas Gasolina (miles de galones)		166,980	407,750	447,910	505,060	561,309	569,187	575,351	612,307	n.d.
Electricidad, Producción (millones kWh)	529	2,017	7,540	8,513	10,228	11,778	12,329	12,209	12,350	15,211 ^b
Electricidad, Consumo (millones kWh)	420	1,667	6,495	7,268	8,677	10,084	10,377	10,197	10,497	12,898 ^b
Importaciones, Total (millones de dólares)	345	915	2,556	2,879	3,108	3,496	4,261	4,951	5,432	n.d.
De E.U.A.	318	761	1,964	2,202	2,270	2,537	2,676	3,005	3,389	n.d.
De Países Extranjeros	27	151	568	648	809	929	1,533	1,867	2,013	n.d.
Importaciones expresadas como porcentaje del Producto Bruto en dólares Actuales	45	50	55	56	55	56	63.5	69.3	72.5	n.d.

a - Proyecciones en dólares actuales b - Estimado Fuente: Junta de Planificación de Puerto Rico Estadísticas Socio-Económicas de P. R.

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 éstos 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, éste compite 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, pagaría del orden de \$31.50 al mes y si fuera un sistema dependiendo de centrales nucleares pagaría 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.

VI. Seguridad de Centrales Nucleares

Primeramente, aclaremos que tanto la central nuclear como la fósil requiere la producción de calor para hervir agua. Esta agua en forma de vapor, se utiliza para mover el turbo-generator, que genera la electricidad. De modo que la central nuclear y la fósil difieren en el método de producir calor; 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--de modo que podemos obtener lo que se conoce como una reacción en cadena 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 a fisionarse, es decir el combustible nuclear. La maravilla y economía de este proceso se hace evidente cuando se reconoce que sólo

una libra de Uranio-235 produce tanto calor (y podemos decir casi 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 o centro del reactor, removiendo 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 reactor nuclear de agua a presión consiste de 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 de alta energía. De modo que el vapor también forma un circuito 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 como 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 diametro 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 a 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 sucedería? Esta pregunta nos lleva a una aclaración de suma importancia, y es que una reacción descontrolada y acelerada, del 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 sólo 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.
3. La física nuclear que rige la reacción nuclear en una bomba atómica no puede contener coeficientes negativos de 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.

4. La planta nuclear posee métodos alternos de 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 decir lo mismo de un escape radiactivo? Discutamos el tema. Los productos de fisión que resultan al fisionarse el U-235 son altamente radiactivos---esto quiere decir que 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 e 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 pequeños 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 aún si estos escapan de la matriz de óxido de uranio.
3. Tercera barrera: los tubos de combustible son colocados en el reactor, que es una vasija de presión de acero de

5 a 7 pulgadas de espesor. El reactor y su circuito primario impiden el escape de radiación aún 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. Aún de fallar las barreras anteriormente mencionados (cosa ya remota, y de probabilidad equivalente a la de que un gran aerolito caiga en el Estadio Hiram Bithorn durante un evento de gran congregación) el edificio de contención evitaría cualquier fuga radiactiva a la atmósfera.
5. Quinta barrera: Además del edificio de contención de acero tenemos un edificio de contención de hormigón sobrepuesto a este de por lo menos 2 pies de espesor. Entre los dos edificios existe un espacio de como 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 biológico, es decir, evita el escape de 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 de los sistemas de seguridad redundantes (es decir, 2 ó más sistemas con la misma función de información o seguridad) se ha establecido

en el último informe sobre la seguridad de reactores nucleares preparado en los Estados Unidos, el cual se conoce como el Informe de Rasmussen (Wash. 1400), que de ocurrir el peor accidente concebible, como derretimiento del corazón del reactor, no ocurrirán muertes, ni heridos, siendo el costo en daños a la central 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 ocurrir 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 equivaldría a menos de la ínfima cantidad de 5 millirems al año.

Para darles una idea de la magnitud insignificante 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. Así mismo si usted se muda de una casa de madera a una de concreto incrementará su dosis en aproximadamente 25 millirems al año. También debemos apuntar que durante 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.

Licenciamiento de Centrales Nucleares

Ahora deseo apuntarles 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 comenzarse a construir una central nuclear es necesario someter 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 hizo para NORCO-NP-1 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 hay que someter el diseño completo y detallado de la central nuclear, junto a una evaluación de todos los accidentes concebibles, sus consecuencias y las medidas tomadas para prevenirlos. 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 junio 30 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 sola 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 record en lo referente a seguridad de todas las industrias en los Estados Unidos.

IV. Conclusiones

Por lo tanto, en la redacción del plan energético de Puerto Rico se recomienda entre otras cosas, las siguientes condiciones

para desarrollar una extrategia 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 y petroquímicas en Puerto Rico, incluyendo subsidios de transportación marina para que así estas industrias puedan competir nuevamente con industrias similares extranjeras y domésticas.
4. Estudiar la posibilidad de establecer una reserva estratégica de petróleo en Puerto Rico y utilizar el petróleo más efectivamente.
5. Ampliar las investigaciones de fuentes autóctonas de energía como son la radiación solar, fuerza del viento y océano termica. Ninguna de estas fuentes es comercialmente económica en la actualidad.
6. Continuar exploraciones petrolíferas, especialmente barrenar en la Costa Norte de Puerto Rico. Para estos fines es necesario aclarar la jurisdicción de Puerto Rico en sus costas y tener todas las precauciones ambientales necesarias.
7. Estudiar la viabilidad de utilizar carbón en sustitución del petróleo para generar electricidad.
8. Estudiar la viabilidad de utilizar la energía nuclear. Como ejemplo, si tuviéramos en funcionamiento una central nuclear de 600 MW_e 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.

9. 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, en lo que 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 ENERGIA 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 P. R.

I. Introducción

En nuestra conferencia de ayer hablamos sobre la Crisis de Energía: Soluciones a Corto Plazo. Hoy vamos a hablar específicamente sobre Soluciones a la Crisis de 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 período 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

* Al presente 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 44% 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. O sea, 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 la atención mundial la crisis energética que existe hoy día.

II. Soluciones a Largo Plazo

Para solucionar el problema a largo plazo, tenemos que enfatizar el uso de recursos renovables. Los recursos renovables incluyen la

RESERVAS MUNDIALES DE COMBUSTIBLES
 FÓSILES MÁS URANIO 235
 1975

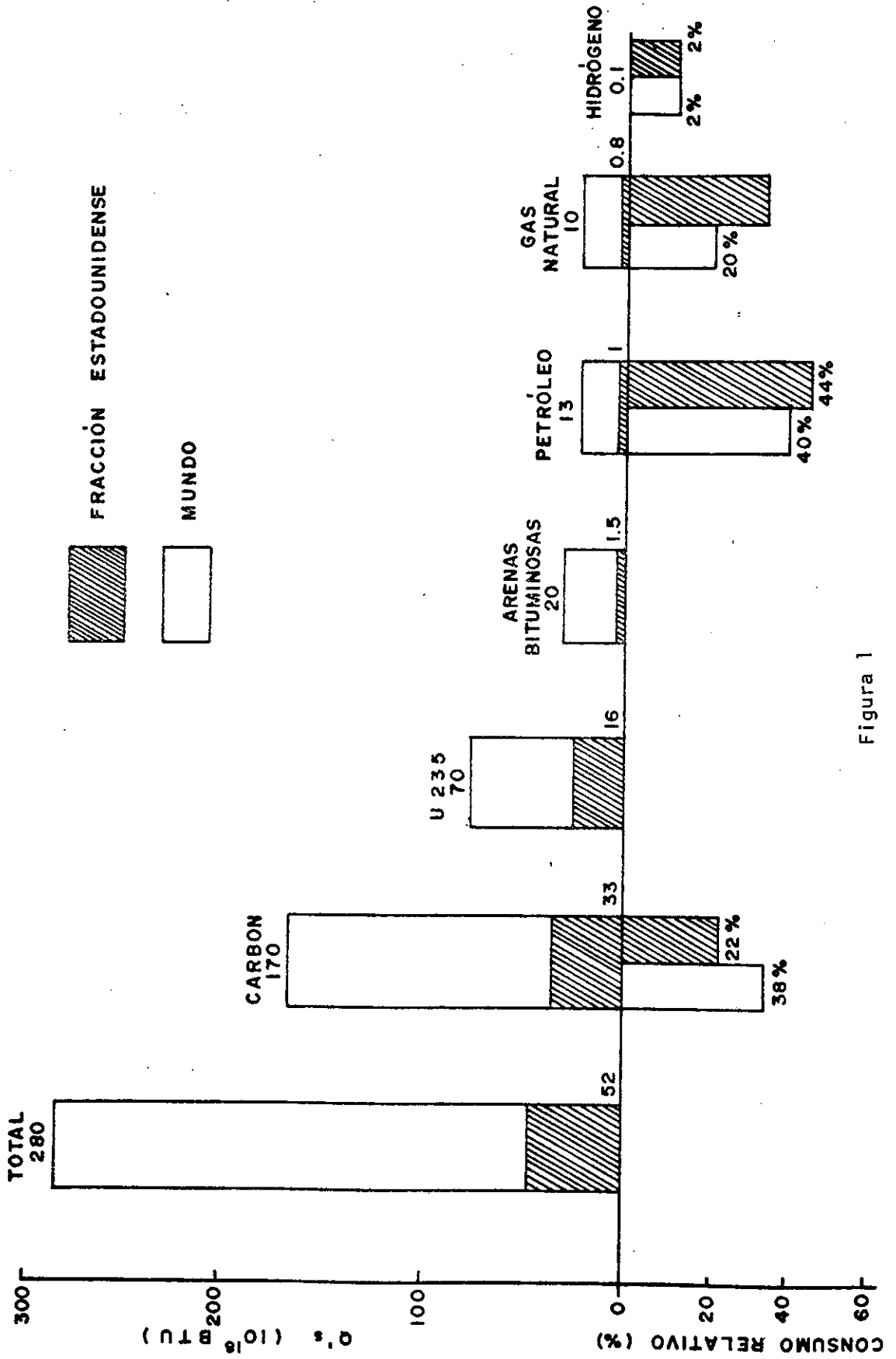


Figura 1

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 un estimado de la cantidad que se podría utilizar anualmente. Los recursos renovables tienen la ventaja de que no se gastan. Utilicemos la unidad Q igual a 10^{15} BTU. Si utilizáramos la energía geotérmica se podría llegar a producir hasta .009 "Q" anuales. Con relación a Puerto Rico, las indicaciones que hay de los geólogos es que las posibilidades de energía geotermal 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 ésta sí que tiene utilidad en Puerto Rico. La energía de las mareas podría contribuir hasta .09 "Q" anualmente; ésta ya se está utilizando en Francia y en Londres en sitios experimentales. Veamos ahora el potencial inmenso de la energía solar, es este de 5,090 "Q" anuales. Tanto es así que la radiación de energía solar que llega al Planeta Tierra es más de 300,000 veces la energía que es usada 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.

Discutamos también algunos de los otros recursos que se agotan pero que están 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 "Q". 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 controladamente en la tierra, esta podría contribuir del orden de 10 billones de "Q" 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 energéticas se suplen del carbón, el petróleo, el gas natural, la hidroeléctrica y la nuclear. La energía solar todavía no está contribuyendo, ni la geotermal, ni los desperdicios sólidos para producir energía. Ahora podemos notar que el petróleo está destinado a llegar a un máximo y empezar a reducirse. Similarmente 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

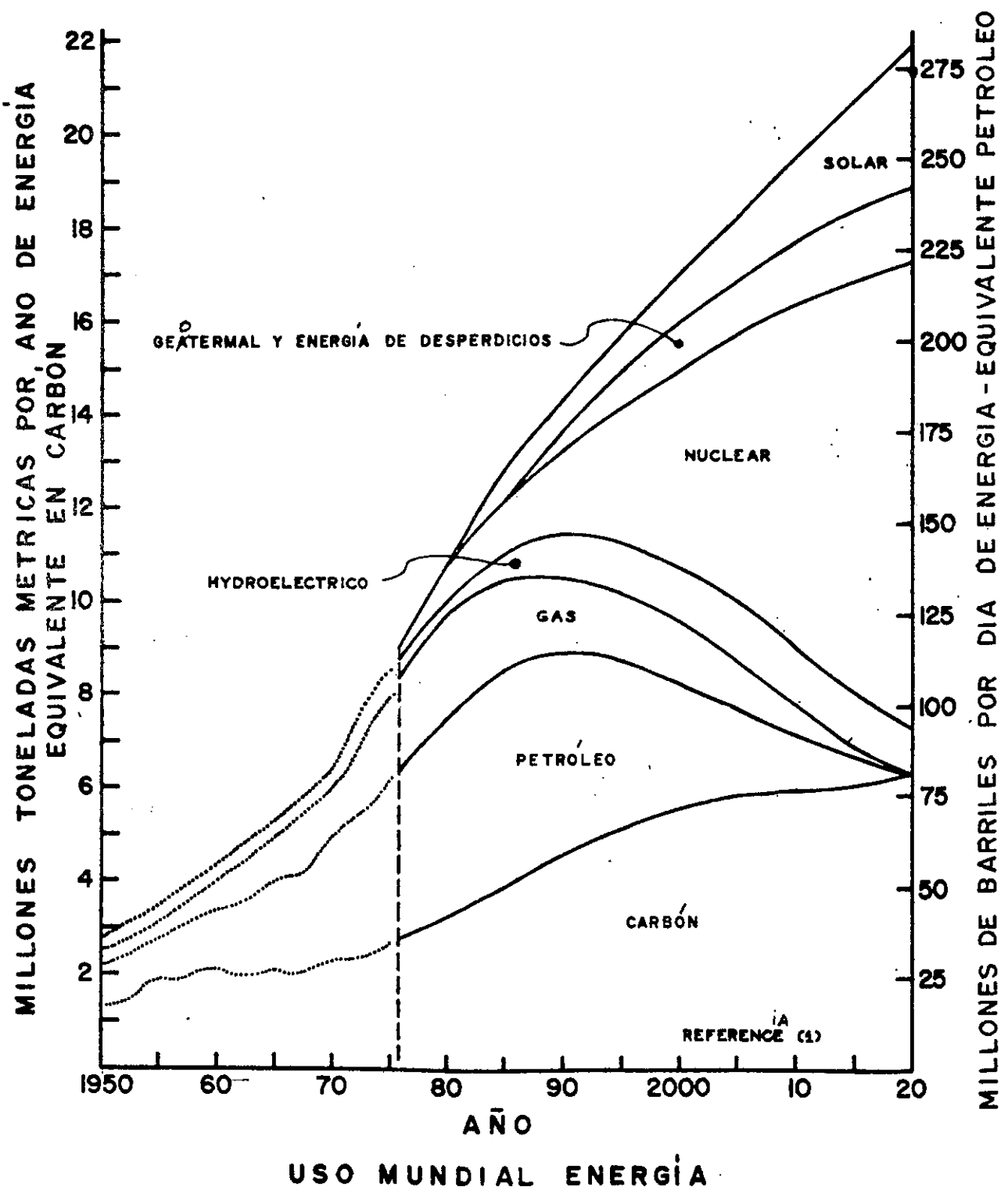


Figura 2

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.

III. 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 a 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 afectaría 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. Basicamente el molino de viento de Culebra es una nueva aplicación de unas técnicas conocidas desde hace años.

IV. 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 incluidos prácticamente todos los hermanos países de Latinoamérica. Esta faja es una celda de energía inextinguible, ya que cada milla cúbica de agua de mar contiene un trillón (10^9)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 intensivamente.

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.

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_1 es la temperatura del cuerpo caliente y T_2 la temperatura del cuerpo frío, la eficiencia máxima teórica es dada por

$$\gamma = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$

donde las temperaturas están en grados Rankine. Si se genera vapor a 75°F (535°R) y se condensa a 45°F (505°R) la eficiencia máxima teórica es 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 cantidad pequeña de electricidad. Por ejemplo, para producir 250,000 Kw es necesario un flujo de agua comparable al flujo del Río Columbia (30×10^6 galones por minuto).

El agua tiene varias desventajas como fluido termodinámico a las temperaturas de 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). Fluídos como propano, hexano, butanos, 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 océano-térmica consiste de una tubería y bombas para traer agua fría de las profundidades del océano, intercambiador de calor de temperatura alta (evaporador), turbo-generador e intercambiador de calor de temperatura baja (condensador).

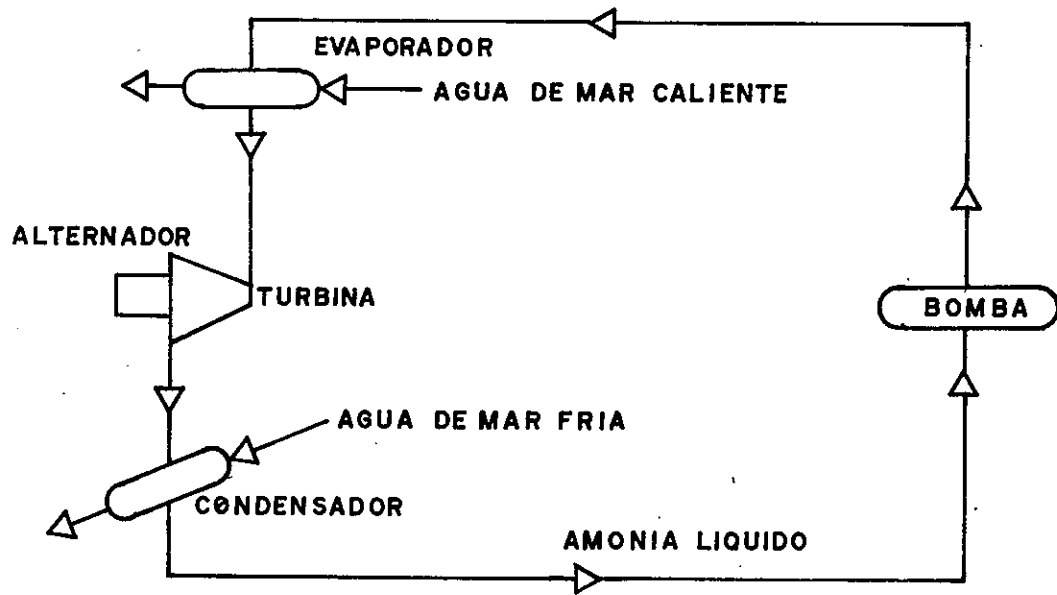
Veamos ahora el estado actual y estado de desarrollo de cada uno de estos equipos.

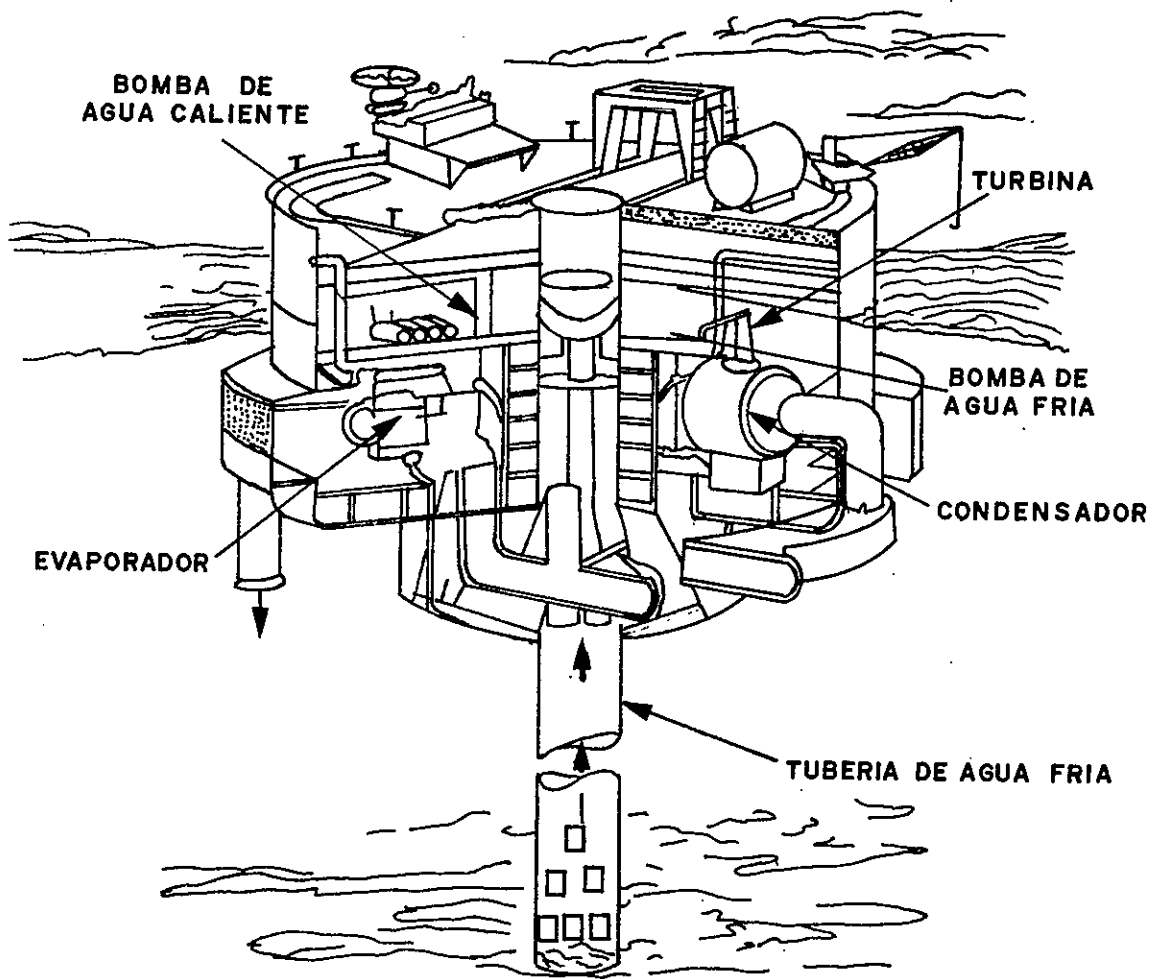
El desarrollo de las centrales océano-térmicas ofrece un gran número de alternativas en cuanto a sus estructuras, materiales, sistemas, equipos, localización y producto final que se puede elaborar en ellas. Como ejemplo tenemos:

- a) estructura flotante o boya semisumergida
- b) construcción de hormigón, plástico o metales
- c) intercambiadores de calor de tubos o placas
- 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, soda cáustica, cloro y otros.

El gobierno de los Estados Unidos está realizando una ingente labor para llevar el concepto de las centrales océano-térmicas a la

FIGURA 3
CENTRAL ELECTRICA OCEANO-TERMICA





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:

1. Demostrar para el año 1984 la operación y el rendimiento de una central océano-térmica que tenga intercambiadores de calor de diseño suficientemente avanzado que permitan determinar su viabilidad económica.
2. Desarrollar intercambiadores de calor económicamente viables por medio de investigaciones, pruebas de laboratorio de las partes internas, y pruebas marinas de componentes mayores y centrales prototipos en instalaciones flotantes de gran tamaño.
3. Llevar a cabo análisis de encomienda y configuración de las instalaciones necesarias para usos particulares con el propósito de definir tales configuraciones para demostración y uso comercial.
4. Determinar el impacto de la degradación microbiológica y la corrosión en el rendimiento a largo plazo de los diferentes sistemas opcionales disponibles.
5. 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.
6. Evaluar posible impacto ambiental de la central en las temperaturas del océano, la salinidad, la ecología y el clima local.

7. 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.
3. 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 sinnúmero 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 cerrado con intercambiadores de calor del tipo de tubos y el fluido termodinámico será amonía.

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 océano-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 planeado por la corrosión y la degradación microbiológica de las superficies intercambiadoras de calor. En otros casos como la turbina para operar con vapor de amonía y el cable eléctrico submarino para traer la energía a tierra, se requiere trabajo de desarrollo y prueba a partir de sistemas conocidos.

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.

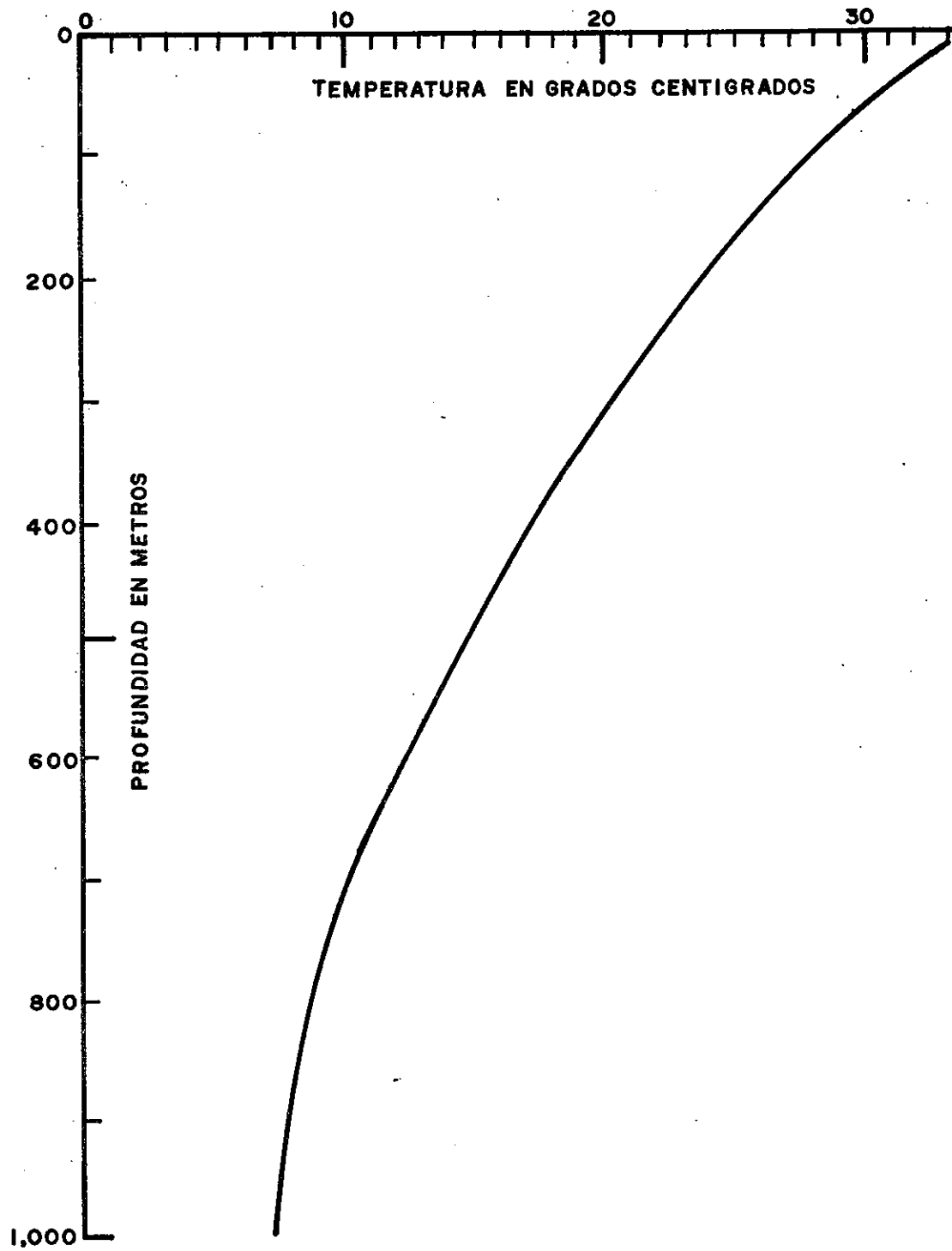
En el año 1967 la Autoridad de las Fuentes Fluviales de Puerto Rico llevó a cabo un estudio para evaluar la viabilidad energética del gradiente de temperatura entre la superficie y las aguas de profundidad a varias millas al Este de la Isla. El estudio dio como resultado una serie de datos sobre el posible 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 océano-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

entre las aguas de superficie y las aguas de profundidad. 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 están 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 algún sitio a escogerse entre Puerto Rico e Islas Vírgenes.

De todas las formas en que está disponible la energía solar, la océano-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 océano-térmicas podrán operar como grandes unidades de carga básica y no estarán



PUNTA TUNA, PUERTO RICO
PERFIL DE TEMPERATURA VS. PROFUNDIDAD

FIGURA 5

sujetas a la periodicidad de la radiación solar diaria y a la inconsistencia de los vientos ni adolecerán de las desventajas que tienen esas otras formas de energía por ser dispersas.

La utilización principal de las centrales océano-térmicas es en la generación de electricidad, en la fabricación de productos que requieran mucha energía tales como agentes químicos (amonía), combustibles (hidrógeno) y metales (aluminio) y otros. 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 océano-térmicas del orden de 100 a 1,000 megavatios tienen utilización para transmitir energía eléctrica a tierra y para procesos químicos.

El concepto de centrales océano-térmicas operando en medio del mar ha sugerido la creación de centros de energía para la manufactura de productos múltiples. Puerto Rico podría obtener la energía necesaria para dar impulso a 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 valor de ciento de millones de dólares y necesitan de tres recursos que nosotros poseemos en abundancia; mano de obra, personal técnico y materiales 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 ó 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.

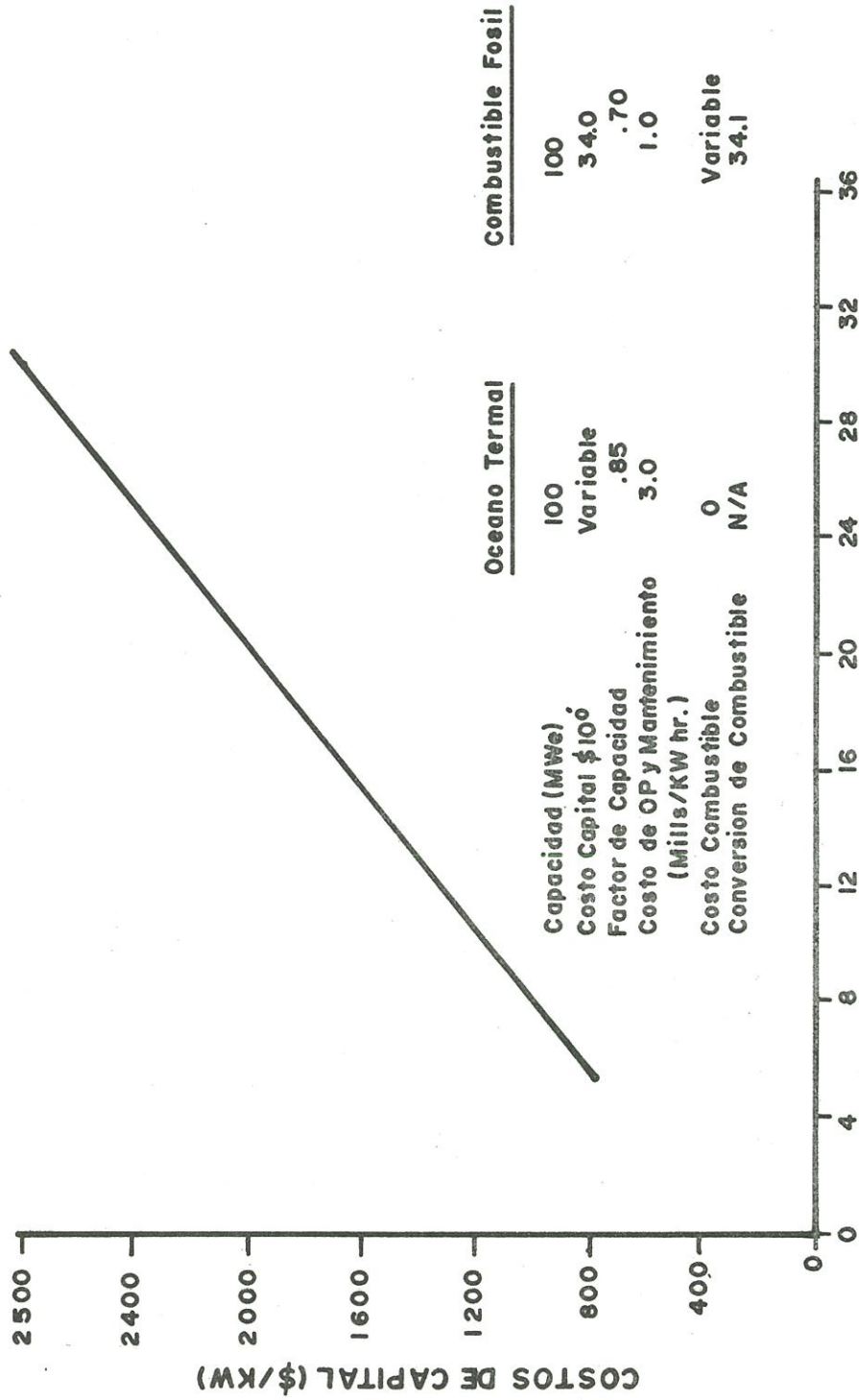
También opinan que es necesario atraer las organizaciones comerciales, industriales y profesionales necesarias para dar respaldo o para aprovecharse de las centrales de tamaño comercial.

El aspecto económico de la operación de centrales océano-termales de gran tamaño fue 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 océano-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 océano-térmicas. El petróleo es de uso mucho más corriente en tales regiones.

Se usó como referencia el tamaño de 100 megavatios y se dejaron como variables los costos de capital de la central océano-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 océano-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

**COSTO A LA PAR DE CENTRAL DE 100 MW
VS.
PRECIO DEL PETROLEO**



COSTO DE PETROLEO (\$/BARRIL)

FIGURA 6

optimizando el sistema y utilizando intercambiadores de calor de aluminio se hicieron estimados que bajan tal costo a 1,120 por kilovatio, lo cual hace a las centrales océano-térmicas más económicas que su equivalente de petróleo.

V. 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 finca 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, promediamente 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 acá 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 perspectiva mucho mayor 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 podemos 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. En adición se destaca, además, el aspecto político de hacer el "lobby" y poder conseguir los proyectos para nuestra Isla.

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 como 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

de 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 potencial mayor para resolver a largo alcance el problema energético de Puerto Rico. Tenemos la bendición de estar geográficamente bien localizados. Tan pronto la energía solar se desarrolle comercialmente debemos ser de los primeros en utilizarla. O sea, a largo plazo, si se desarrolla la energía solar, podemos tener un gran futuro porque podríamos tener energía abundante a precios razonables y así desarrollar nuevas industrias.

VI. Fusión

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 millones de B.T.U. ¿En qué se basa específicamente la fusión? En tener una coalición de cuando una partícula de deuterio, que es hidrógeno pesado ${}_1\text{H}^2$, o tritón que es ${}_1\text{H}^3$, 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 estos neutrones se atenúan en un moderador, este último absorbe la energía. El moderador o líquido caliente se puede utilizar para producir vapor y mover un turbo-generador.

¿Cuál es el problema vital de la fusión? En estos casos nos confrontamos con el mismo concepto que se usa en la bomba de hidrógeno, y aun 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 están ionizadas o cargadas tienden a repelerse. Consecuentemente hay que buscar alguna manera de unir estas partículas y el problema es que como las temperaturas son 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 tritón 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 recupera. O sea, hay que lograr conseguir una densidad alta de plasma y una temperatura alta 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.

Analícemos, aunque brevemente, cuatro prototipos que se están investigando para conseguir la fusión. Uno es el "Tokamac", que esencialmente es como una dona donde el plasma está en el medio y se rodea de magnetos. Se parece mucho al "theta-pinch", donde el plasma está también en el medio y rodeado de unos magnetos. En la primera el magneto está en un área en específico, y en la segunda el magneto está todo alrededor. Los rusos han obtenido los desarrollos mayores con el "Tokamac". Otro prototipo, el "mirror machine", el cual es como una línea recta en donde el plasma se mantiene por unos magnetos bien fuertes en los terminales, de tal manera que previenen se escape hacia afuera. Ultimamente se ha conseguido un buen desarrollo utilizando los rayos Laser 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 "Tokamac", el 15% es para el "tetha-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 Tokamac 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 a los efectos 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

los que pueden acometer tan costosas iniciativas. Definitivamente va a tomar unas décadas en desarrollarse la fusión pero tiene un potencial inmenso.

VII. Conclusiones

No debemos olvidar que la solución a los problemas energéticos de Puerto Rico está en desarrollar por medio de programas regionales o 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 liderazgo 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.

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 de Energía 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. Todos estos proyectos son de especial interés para el Caribe, ya que utilizan las únicas fuentes de energía autóctonas que existen aquí. Durante esta conferencia ustedes tendrán la oportunidad de aprender más sobre todos estos proyectos y otros más que se están estudiando en Puerto Rico. Una lista de todos los proyectos del Centro está en el Cuadro I. Debido a su posición geográfica, relaciones con Estados Unidos, la existencia en la Universidad de Puerto Rico de un Centro

de Estudios Energéticos y Ambientales, y los altos costos actuales de la energía, nos encontramos en Puerto Rico en unas condiciones privilegiadas para investigar y desarrollar las fuentes energéticas autóctonas de nuestra Isla y del Caribe. Muchas gracias.

CUADRO 1
UNIVERSIDAD DE PUERTO RICO
CENTRO PARA ESTUDIOS ENERGETICOS Y AMBIENTALES (CEEA)
PROYECTOS CORRIENTES DE INVESTIGACION Y/O ADIESTRAMIENTO

<u>PROYECTO</u>	<u>INVESTIGADORES PRINCIPALES</u>
1. Conversión Fotoquímica de Radiación Solar para Producir Hidrógeno como Combustible	L. Echegoyen, UPR-RP y Univ. de Illinois
2. Estudios de Superficies de Electrodo Usados en Células de Combustible	B. Vassos, L. Blum, UPR-RP
3. Curso Multidisciplinario sobre Energía	N. Azziz, UPR-RUM
4. Adiestramiento Subgraduado en Energía y Ambiente	F. A. Herrero, UPR-RP
5. Estudios sobre las Características de Superficies para Colectores Solares	S. V. Weisz, M. Gómez, UPR-RP
6. Conferencia Internacional sobre Energía y el Desarrollo Económico Abril 3-6	P. Harrison, CEEA
7. Taller Sobre Tecnologías Alternativas de Energía Abril 3-6	U. Ortabasi, CEEA
8. Proyecto Inter-Agencial para Obtener Energía del Mar (OTEC)	CEEA, AFF, OFICINA ESTATAL DE ENERGIA
9. Actas de la Conferencia sobre la Crisis Energética, UPR, Estudios Generales	W. Miranda, UPR-RP
10. Estudios sobre Transferencias del Calor en Plantas Eléctricas del Mar (OTEC)	D. Sasscer, CEEA
11. Conversión del Calor Solar en Energía Eléctrica	S. V. Weisz, UPR-PR
12. Conservación de Electricidad por Medio de Sistemas de Sombrar Residencias	H. Plaza, UPR, RUM
13. Estudios en el Uso de Compuestos Especiales para el Recobro de Petróleo	G. A. Infante, Univ. Católica, Ponce
14. Uso de Químicas Especiales para Estimular el Crecimiento de Variedades de Caña de Azúcar y Otras Hierbas Tropicales	A. G. Alexander, UPR, RUM
15. Estudios sobre Aspectos Socioeconómicos de la Cuenca del Río Espíritu Santo	P. Soto, CEEA
16. Mediciones y Análisis de Insolación por Computador Electrónico	K. Soderstrom, UPR, RUM
17. Estudio sobre Conservación de Energía en el Sistema de Transportación	J. Mayda, UPR-RP
18. Análisis de los Recursos Naturales de la Cuenca del Río Espíritu Santo y Normas para Asegurar su Desarrollo Racional y Optimo	H. López Pumarejo, UPR-RP
19. Diseño y Demostración de un Sistema Económico de Aire-Acondicionado Usando Energía Solar	F. Plá, UPR, RUM
20. Diseño de Sistemas de Almacenaje de Energía Solar	R. A. Singh, UPR, RUM
21. Estudios para la Producción de Energía Usando Sustancias Ferroeléctricas Sensibles a la Energía Solar	M. I. Kay, CEEA
22. Modelo Energético para Puerto Rico	F. Castellón, Oficina Estatal de Energía

PROYECTO

23. Estudios Marinos de la Situación Ambiental en el Area de la Industria Petroquímica
24. Desulfurización por Micro-organismos de Petróleos Venezolanos Espesos
25. Producción de Biomasa de Variedades de Caña de Azúcar y Otras Hierbas Tropicales como Fuentes Renovables de Combustible
26. Estudios de Algodón de Seda y Otras Plantas de Puerto Rico que Contienen Savia de Hidrocarburo
27. Conversión de Mostos de las Destilerías de Ron a Productos de Valor Económico
28. Control de Bilharzia en los Embalses Hidroeléctricos de Puerto Rico
29. Diseño y Demostración de un Sistema de Aire-Acondicionado para el Edificio Principal del CEEA Usando Colectores Solares y Células Fotovoltaicas
30. Producción de Alcohol de Hierbas Tropicales como Suplemento a Gasolina
31. Estudios del Jacinto Acuático para Purificar Agua y Producir Subproductos de Valor Económico
32. Producción de Hidrógeno por un Horno Solar
33. Estudios de Sedimentos Oceánicos para el Desarrollo de Energía del Mar (OTEC)
34. Estudios sobre Biomasa Marina como Fuente de Combustible
35. Diseño y Demostración de un Sistema Solar para la Generación de Vapor para el Proceso de Destilación
36. Programa para Implementar el Plan Estatal para la Conservación de Energía
37. Ayuda Técnica al Servicio Estatal de Extensión Energética
38. Curso Modular sobre Energía para Uso en Colegios Universitarios, Escuelas Superiores y Televisión
39. Manual para Consumidores sobre Diseño e Instalación de Calentadores Solares de Agua
40. Película sobre el Problema Energético de Puerto Rico en Colores con Sonido para Televisión, Cine, Instituciones de Educación y Grupos Cívicos

INVESTIGADORES PRINCIPALES

- J. González, CEEA
- J. J. Rigau, CEEA
- A. G. Alexander, UPR-RUM
- A. G. Alexander, UPR-RUM
- E. Werner, U. Ortabasi, A. Block, CEEA
- W. Jobin, CEEA
- U. Ortabasi, CEEA
- J. Batiz, UPR-RUM
- R. Clements, CEEA
- M. Iriarte, CEEA
- G. Goldman, CEEA
- E. Werner, CEEA
- CEEA, Corp. Bacardí, Univ. de Chicago
- Oficina de Energía, DACO, CEEA, COTACO y Otras Agencias Gubernamentales y Privadas
- J. Bonnet, Director, CEEA
- CEEA, Administración Colegios Regionales-UP
- H. Plaza, K. Soderstrom, K. Pedersen, UPR-R
- CEEA, UPR-RUM