

CEER-X-048

Noviembre 1977

LA CRISIS DE ENERGIA Y SUS ALTERNATIVAS

SOLUCIONES A CORTO PLAZO ¥ SOLUCIONES A LARGO PLAZO

Dr. Juan A. Bonnet, Jr.

poets. 5.

CENTER FOR ENERGY AND ENVIRONMENT RESEARCH

fo omen orice noo us tsar or enor

¢ * *

---Page Break---

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 Ingenferta

Autoridad de las Fuentes Fluviales de P.R.

Universidad de Puerto Rico"

Recinto de Rfo Piedras

el

29 de noviembre de 1977

---Page Break---

CONFERENCIA

29 de noviembre de 197

+ CRISIS DE ENERGIA Y SUS ALTERNATIVAS:

SOLUCIONES A CORTO PLAZO

PARTE.

Por

Dr. Juan A. Bonnet, Jr.#

Director Ejecutivo Auxiliar

Planificación e Ingeniería

Autoridad de las Fuentes Fluviales de

1. 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

similar donde hablaremos de las soluciones a largo plazo.

corto plazo y mañana cont inuaremos con una presentaci3n

Para hablar sobre la "Crisis de Energfa en Puerto Rico!" es

necesario que, primeramente, entendamos con claridad cual es la

Problemstica de energfa mundial y c3mo 3sta afecta a los Estados Unidos y a Puerto Rico. De esta manera podremos visualizar m3s adelante las soluciones a corto plazo a la problemstica energ3tica de nuestro Terrufo.

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 tom3 millones de afos en formarse. Algunos de los recursos que nosotros estamos utilizando al presente los tomamos del mundo,

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

---Page Break---

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 se cogió al mundo billones de años en formarse vamos a tener problemas serios en un futuro cercano. Esto es también muy cierto. El medio ambiente, tenemos que conservarlo y cuidarlo para el bienestar nuestro y el de futuras generaciones.

to con relación a nuestro

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 que crecen a una velocidad exponencial, mientras que otras fuentes energéticas más abundantes no se les utiliza proporcionalmente.

requeridas para satisfacer una demanda por

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.

---Page Break---

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 necesi-
dades de energía se satisfacían quemando madera. En el 1990 el
carbón vino a sustituir la madera como el combustible por exce-
lencia, 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
necesidades

una de las competencias de otras no indispensables que
puedan suplirse de algunas fuentes como la madera y el petróleo.

Lo paradójico de la situación es que el petróleo tan sólo repre-

senta 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 se continúa al ritmo actual. Muchos escenarios como éste han sido desarrollados por diferentes organizaciones y éste aquí se demuestra

---Page Break---

ava 90N.

vorwo4sin

1 ovunors

pro)

vive -03 Na

viewana osa

oot

vio, a0 %

---Page Break---

wz xe

&

2 vunois

1086 7 F To]

?onaoguain =

i

TwenwN ?om10H1ad?gysontaLia

?synauv

?onan

asNaalNnoavisa NoIDovEs

sez_olnvan

sav@lusnawoo

30

or

ay

ii

nosey

ae

ios,

suet

SYM satiso4

S31VIGNAW SvAUaS3Y

(%) OANLW13u ONNSNOD

2

---Page Break---

0310N13d JLN3TVAINDS-VINaN3 30 Vid Hod SawuvE 3d S3NOTTIW

§ 8 § 8 © 8 8 8 e g 28

8

10

2000

Z

<

3

e

o

2

Fe

2

z=

a

2

5

3

o

o

3

60

orfrenuaL ¥ Eutneik o? OF

1950

8 @ 2 & gs yo eee

NOg#Vo NB 3LNaIVAINOS

VION3Na 30 ONV ?Nod SVIINLAN SVOV13NOL S3NOTTIN

---Page Break---

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

2. 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 energía oceánico-térmica. Esta última utiliza las diferencias

de temperatura entre la superficie del océano y sus profundidades

para producir 1a electricidad y su potencial pa
el Caribe es inmenso.

Puerto Rico y

Por lo tanto, es evidente la Importancia de ir sustituyendo
el petróleo como fuente de energfa por otros recursos ms abundan-
tes. En adición, cono ustedes bien saben, el petróleo es la
materia prima principal para una infinided de productos muy
importantes. Lo peor que se puede hacer con el petróleo es que~
marlo para producir energfa. Esta condición se puede apreciar
ings dranfticamente en la Figura 4.

Pora tener una idea mis clara del recurso energético nuclear,

1a Figure 5 nos ilustra la relación existente entre los recursos

de energfa en los Estados Unidos. Podemos notar que el uranio
tusado en la economfa de los reactores reproductores puede prov.
energia por centenares de afios. Mientras tanto, se proveerfa

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, 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

---Page Break---

O310M13d 30 YMIXYH IVIGNAM Nol>DNGous 30 oGvMILsa

ony

oso 02 one coe! ose

sauo7M

tive

» vanois

ouvs sa

---Page Break---

s vunold

vviAly

nov

sauonovay osott

oot | wwuniwy

omowias = S¥°

ove

?awaa1039

08's

wy

Na

tg, | 02108434

08's

Noga

ovo'oe!

Sa¥o1snooyday woLdvae

?oiNvun,

(nag gon

sa1viannw

---Page Break---

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 b116n de barriles, aumentar la producción de carbón por 2/3 partes para llevarla @ una producción anual de 116n 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 Presi

inte Carter propone utilizar al México 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 con

nes 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 1a 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

---Page Break---

ESTADOS UNIDOS

REFERENCIAS 2»

TAMARO DE PAISES EN PROPORCION A SU CONSUMO
DE PETROLEO

FIGURA 6

---Page Break---

7 =

a 903 2a xotoray

a Sourtousse-sootssowna soionaore 20 Ola Oo oveand

---Page Break---

Util tzada y podenos apreclar 1a necesidad de una mejor util izactén

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 a 50 años y es definitivo que su precio continuará aumentando en los próximos años. 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 está desarrollando una economía industrial que requiere energías eléctricas más baratas que en los Estados Unidos. Esto era así ya que antes de 1973 el petróleo extranjero era más barato que el de los Estados U

1 proveyendo entre otros incen-

"s. 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 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

---Page Break---

ugtoe3)

?otoned 19P kopentioa soran

?8p {e101 ownsuos

P eperdepe opts ey

sono

emseptuent

uojoruods ues

pepronnaera 9p ueroeuon

Tepoi09s owns voo

son0

tien

eon

Fret sorsmuenut ve orauea

1 sovoyoeuedst

Sovonpoid 8p ofmta

SETIMWA Ja SINOTHN NI 9461 WUNIYN OMY

808200¥d SOT N3 Vatawad A VavarTian VIOWENG cq NOIOVIZE

A SOUIIOUITE-SOOMIDUINE SOLOMTOUS 3a OLN 1 OOM OLWINE = ? HIRE

aoxayna

---Page Break---

® vunows

Au 94 64 bs OL, 0% 096i ___ Ads 94 St, why OL on, one

o vuntinswey

0001 ¢

oz 0s ¢

vaniovannwn

002 ¢

van.inoiwey

oe. vaninoioy cose \$

soarana o4aN osayont

ove

008 §

soun

Sauvipd 30 SaNOTIW

vunsinoiwey vSvda¥e0s VaNLOVaNNYW

---Page Break---

avaioneisata wusnso vuva

satan saunans sv ad GVONOLAY V1 YOd CQV2ITLA ATEILSNGNOD

mowayno

---Page Break---

ve

se quema para producir energfa eléctrica. También podemos ver proyecciones de lo que pagaremos en el futuro. Pueden notar en

estas proyecciones que no se vislunbra reducci3n en el costo de Ja electricidad, sino al contrario, seguiré aumentando segin el

costo del petr3leo continug aumentando. Durante el afo fiscal

1976-77 Tos consunidores pagaron ms 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.

El sector energético también repercutió sobre el sector manufacturero y en el de la transportación. Por ejemplo, el Cuadro [11] 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 recuperindose, no es de esperarse que Hegue

@ ser lo que hublese sido sin el efecto del problema energético.

Soluciones a Corto Plazo

?Ahora vanos hablar sobre fuentes energéticas comerciales que estén disponibles de momento. Esté disponible el carbén, la hidroeléctrica, el petréteo y las centrales nucleares. En Puerto Rico biésicamente utilizanos el petréleo solo; y un poco la energta higroeléctrica. También se habla de la posibilidad de yacimientos

---Page Break---

6 vunola

loos ¢

TOS

(0001 \$

Joost ¢

0002 \$

WOR

o0cz ¢

}00os ¢

Sangz0wja svisi v J y S3NZ0MIA SVS! 3%

SOMaPNVULXS S3SIVd ¥ j SOUSPNYYLKS S3asivd 3

soainn soavisa v 'SOGIN Soavisa 30 I

Nolovisodxa NOIDVLYOdME

cose ¢

coors

?SauvING 3d SaNOTIIN

---Page Break---

ousyp ox = ?pu

maa" Seuntgp uo seu0qa9?Kes4 = #

oF cn ©

ozs,

Sart

esstot usttor?estor?ys0tor sorte

osctzt sorter acter suettt

egies

BH Bre

38

ts0'w9

reste sovtese

er ye got that

a

7 ETT

oad epesoiiiry Souorsessodn

a 213 s253t0 20

te Nin 3a

BE

op soynaguea op

fosh ue Soion 8p Sormazeen

it we ie

He ih a, .

ies Bee aoe Hee

or or *

tao" ssn ort agott

ore bo es * roo ov

ACOO"TT OTonr'E Stone's otete sett get's puctz?one'z cunt gun ap souontte) set ormin Sianpsiy

SHOWIN

oust ocet set et suet rest eet au aes ow

otwne 30 0¢ 7 OCNYNINASL S3TVDS44 SOUY SONNDTY KI SO91L3DNRNI A
SODINONDDA-01205 S1¥ORVDTENE

111 oxavag

---Page Break---

de petróleo en la costa norte, pero no podemos planificar basado
fen ese petróleo hasta que se encuentre definitivamente y de encon-
trarse no debenos utilizarlo para quenarlo para producir electri-
cidad, ya que el petróleo tiene una infinidad de otros usos. Lo
que debemos hacer es desarrollar petroqufmicas u otro tipo de
Industrtas y venderlo como estén haciendo los Srabes e Irén, y
que estén construyendo centrales nucleares para suplir su electri-
cléad. Como indicanos anteriormente en Estados Unidos hay micho
carbén y en Puerto Rico no lo hay, pero esta es una alternativa

viable. Energía hidroeléctrica, no nos queda mucho ms. £1

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 esté 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.

---Page Break---

ve

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.

Seguridad de Centrales Nucleares

Primeramente, aclaremos que tanto la central nuclear como la f6si1 requiere la producción de calor para hervir agua. Esta agua en forma de vapor, se utiliza para mover el turbo-generador, que genera la electricidad. De modo que la central nuclear y la f6si1 difieren en el método de producir la f5si1 lo obtiene por el método convencional de la combustión de carbón o petróleo, la nuclear lo obtiene por el proceso de 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

dividirse el átomo pesado libera, entre otros fragmentos, neutrones adicionales, que entonces se encuentran disponibles para ocasionar más fisiones~

como una reacción en ca

-de modo que podemos obtener lo que se conoce

cadena y su resultante liberación de calor.

En los reactores nucleares de hoy día se utiliza el uranio-235

para proveer los Stomos pesados que constituyen el material @
fistonarse, es decir el combustible nuclear. La maravilla y econo-
Imfa de este proceso se hace evidente cuando se reconoce que sólo

---Page Break---

-10-

cast

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 central del reactor, renovando 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
contiene el calor de la acción nuclear sale más fría. Al salir
del generador de vapor se bombea entonces nuevamente a través de!

reactor para completar un circuito cerrado conocido como el ?
circuito primario. De modo que el circuito primario se aseneja al
sistema de enfriamiento de un carro donde el motor, al igual que

el reactor nuclear, libera calor y el radiador, a1 l igual que el
generador de vapor, disipa este calor. Un reactor nuclear de agua
2 presiGn consiste de dos circuitos primarios idénticos. Como ya
habfamos apuntado, e1 vapor generado se utiliza para mover el
turbogenerador que produce la electricidad. Una vez que el vapor
hha efectuado su trabajo en el turbogenerador y ha perdido su
energfa, se condensa para devolverlo a 1a forma lfquida y se bombea
de vuelta al generador de vapor para product nuevamente vapor de
ro

cerrado que es conocido como el circuite secunda

fel vapor de baja energia se necesita agua de enfriamiento, que en
fel caso de Puerto Rico serfa agua de mar. Y esa serfa la Gnica

alta

De modo que el vapor también forma un circuito

Para condensar

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 excederán los límites impuestos por la Junta de la Calidad Ambiental

---Page Break---

one

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 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 @ 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, 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 sólo

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 puede controlar la reactividad, esto es a medida que la bomba genera

Factores negativos

---Page Break---

ne

calor no pueden surgir efectos de temperatura que tiendan a ser negativos en un

a apagarla. Este coefic!

reactor nuclear, de modo que la reacción tiende @ apagarse

?8 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 det

radiactivo? Discutamos el tema. Los productos de Fisión que resul-

sto quiere

lo mismo de un escape

ten al Fisionarse el U-235 son altamente radiactivos

decir que son por naturaleza inestables y emiten partículas y/o

rayos energéticos para llegar a formas estables. Estas partículas

y los rayos energéticos se conocen como radiación. Bien, pues veamos

las barreras y obstáculos que en una central nuclear sirven para

detener © 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

está en el reactor, que es una vasija de presión de acero de

los tubos de combustible son colocados

---Page Break---

a2

5 a 7 pulgadas de espesor. El reactor y su circuito primario impiden el escape de radiación α y β 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 pul:
de

clonados (cosa ya remota, y de probabi

spesor. Aun de fallar las barreras anteriormente men-

dad equivalente

2. 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 típicamente al vacío de modo que cualquier filtración ocurriera de la atmósfera al edificio y no inversamente. Este edificio de contención de concreto sirve de blindaje,

radiación, además de evitar el escape de radiactividad.

biológico, es decir, evita el escape de

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, 26 más sistemas con la misma función de información o seguridad) se ha establecido

---Page Break---

13

en el famoso 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 ocurrirían 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 Te central nuclear, sería menos de la dosis recibida por una
sndo en las colindancias de 1a central nuclear, y
menos de 1a {nfima cantidad de 5 millirems al afo.

Persona viv
equivaldrta

Para darles una idea de 1a magnitud Insignificante de esta
dosis, en Puerto Rico recibimos del ambiente un promedio de 115
nillirems al ato; si viviéramos en Estados Unidos recibiríamos
180 miltirems al afo y en ciertos sitios de la India y Brasil
recibiríamos hasta 500 millirems al ao. De hecho 5 millirems

al alo es 1a 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. Ast mismo 5
una casa de madera @ una

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.

usted se mide

concreto incrementará su dosis en

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 esté regulada por 1a

---Page Break---

athe

Comisión Reguladora Nuclear. Antes de comenzarse a construir una central nuclear es necesario soneter @ 1a CRN un estudio completo de 1a localización donde se propone instalar la central nuclear y su efecto en el medio-ambiente. Esto se hizo para NORCO-NP-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 soneter el diseño completo

el

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

Ja central, pero siempre bajo la vigilancia e inspección de la CRN.

Veamos también cuál ha sido la experiencia acumulada por centros 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 @ 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 estén 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. No ha ocurrido una sola muerte a causa de radiación. No ha ocurrido una sola

de una

demandas 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.

Conetutor

Por lo tanto, en la

Rico se recomienda entre otras cosas, las siguientes condiciones

iccin del plan energético de Puerto

---Page Break---

a15-

para desarrollar una extrategia corto plazo.

1

3.

Desarrollar lo antes posible un programa amplio de conservación de energía (mejor utilización) .

Desarrollar programas de orientación sobre la problemática energética y el uso efectivo de la energía.

Gestionar mayores subsidios federales para las refineras y petroquímicas en Puerto Rico, incluyendo subsidios de transportación marina para que así estas Industrias puedan competir nuevamente con industrias similares extranjeras y domésticas.

Estu

tésica de petróleo en Puerto Rico y utilizar el petróleo

ns efect ivanente,

ir la posibilidad de establecer una reserva estre~

Ampliar las investigactones de fuentes autóctonas de energfa como son 1a radiación solar, fuerza del viento

Y Oceéno ternica. Ninguna de estas fuentes es conercial- mente económica en 1a actual idad.:

Continuar exploraciones petrolfferas, especialmente barrenar en la Costa Norte de Puerto Rico. Para fines es necesario aclarar 1a jurisdiceión de Puerto

tos

Rico en sus costas y tener todas las precauciones ambien tales necesarias.

Estudiar la viabilidad de utilizar carbén en sustitución del petréeio para generar electricidad.

Estudiar ta viabilidad de utilizar la energfa nuclear.

Como ejemplo,

central nuclear de 600 Mw en el año Fiscal 1976-77 los

tuvieran en funcionamiento una

---Page Break---

16

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 alternativas 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.

---Page Break---

CONFERENCIA

30 de noviembre de 1977

PARTE II: CRISIS DE ENERGIA Y SUS ALTERNATIVAS:
SOLUCIONES A LARGO PLAZO

Por

Drs Juan A, Bonnet, Jr.

Director Ejecutivo AxiTier

Planificación e Ingeniería

Autoridad de las Fuentes Fluviales

jes de PL Re

1. Introducción

En nuestra conferencia de ayer hablamos sobre la Crisis de

Energía: Soluciones a Corto Plazo. Hoy vamos a hablar especifi-

Energía a Largo Plazo.

canente sobre Soluciones @ la Crisis

Primamente vamos a revisar brevemente cuáles es la problemática

energética y sus soluciones @ corto plazo,

Mencionamos ayer que cada vez que hablamos de la problemática

energética tenemos que recordar que toda la humanidad vive en

Planeta Tierra, y que los recursos que tenemos en este planeta son

finitos. Hay recursos como el petróleo, los cuales son bi-tonos

Ge a los 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 hu-

manidad hasta el año 1370, Moralmente estamos haciendo un mal a

las futuras generaciones, Por lo tanto tenemos que procurar utilizar

recursos que sean inagotables para producir la energía en el futuro.

---Page Break---

Eticos y Ambientales de la Universidad de Puerto Rico

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 necesi-

dades energéticas mundiales se produce quemando carbón, el 40% que-

mando petróleo y un 20% quemando gas. En los Estados Unidos, un 22%,

de las necesidades energéticas se produce quemando carbón, un 20%

quemando petróleo y un 32% gas natural (Figura 1). Inmediatamente

podemos darnos cuenta de la problemática energética que hay:

se están utilizando no 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 condi-

ción la reconocieron los países productores de petróleo y trajeron a

atención mundial la crisis energética que existe hoy día,

Soluciones a Largo Plazo

Para solucionar el problema a largo plazo, tenemos que enfatizar

el uso de recursos renovables. Los recursos renovables incluyen 1a

---Page Break---

1 ean613

CAT

?SYNaUY

= _

on19u.3d ? sysoniviniie

oanaw

asngaiNnoavisa NoIDovEs

sez Inv:

satelusnanos

an

Out

nos

suet

SYM satisp4

Sa1VIGNAW ? svAMasay

cae

vio.

2 8

(%) OnLLW13u ONNSNOD

g

(nado +0

---Page Break---

energfa solar, la fusi3n, el oc3ano y el viento.

Observemos algunas de las fuentes de energfa renovables de!

?mundo que todavfa no se est3n utilizando, y veamos un estimado de

Jo cantidad que se podrfa utilizar anualmente. Los recursos reno

vables tienen la ventaja de que no se gastan. Utilicemos la unidad
@ igual a 10^{15} e1U. Si utilizáramos la energía geotérmica se podría

Méjora producir hasta $.009$ "9" anuales. Con relación @ 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 yacimientos de aguas cal

ntes 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 éste
ST que tiene utilidad en Puerto Rico. La energía de las mareas po-

dría contribuir hasta $.09$ "

anualmente

ta ya se esté utilizando

en Francia y en Londres en sitios experimentales. Veamos ahora el

potencial inmenso de la energía solar, es este 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 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 de:

desarrollo lo antes posible. Básicamente podemos afirmar que las fuentes

Principales a largo alcance estén basadas en la energía solar y su

utilización de una manera u otra.

---Page Break---

Discutamos también algunos de los otros recursos que se agotan

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 TWh, Otro recurso inmenso es la fusión. Sobre la fusión numerosos científicos alegan que esta

es la solución definitiva 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 evaluar

la fusión controlada en la tierra, esta podría contribuir del orden de 10 billones de TWh 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 es-

tudio mis, todos mis o menos, Tegan a 1a misma conclusi3n con dife-

Fuentes nGneros (Figura2). Hoy en dfa, las necesidades mundiales

s3ticas se suplen de! carb3n, el petr3leo, el gas natural, 1a hidro~

el3ctrica y ta nuclear, La energfa solar todavia no est6 contri buyendo,

?ni la geotermal, ni los desperdicios s3lidos para producir enerofa

?Ahora podemos notar que el petr3leo est3 destinado a legar @ un nie

se. Si

ximc y empezar a reduc jarmente le pas6 al gas natural. £1

Programe Nacional de Energfa en los Estados Unidos dispone utilizar

el carb3n 2 su m3ximo para poder suplir las necesidades que no van a

poder suplir el gas natural y el petr3leo, y despu3s recurrir a usar

---Page Break---

OF10NLad ILNATVAINDA-VINNIN3 3d VIId YOd SIWHVE 3d SINOTIIN

@ § § e 8 8 8 e ga .

Gers

Ze

200010

pices

ocRrenuat ¥ ENERGIA oF OES

50,

oe

" @ ® ® = wo

Nogdvo Na 3LNa|VAIND|

VIOUaN3 30 ONV 'YOd SVIINL3N SVOVI3NOL S3NOTTIN

USO MUNDIAL ENERGIA

Figura 2

---Page Break---

1a energia solar y otras fuentes. Lo que falta ser stiplido con

energfa nuclear, en lo que se desarrolla la energfa solar, le energta

geotermice y 1a utilizaci3n de desperdicios. En la Figura 2 se ve

?que para el ato 2020 1a energfa solar estar3 contribuyendo signi fi-

cativanente

las necesidades energéticas © 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 ins-

talvar varios molinos en distintos sitios de los Estados Unidos. Se

sometieron 74 propuestas de todos los Estados Unidos incluyendo 1 a que sometió la Autoridad de las Fuentes Fluviales ofreciendo insta:

Tarlo en la Isla de Culebra. Después que se evaluaron 1as 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 electri-

Cidad son de mucha utilidad para comunidades pequeñas y para la

---Page Break---

agricultura. El pico de demanda eléctrica en Culebra es de 800 a 1,000 kilovatios eléctricos. Un molino de viento supliría aproxi-

madamente un 20% de las necesidades energéticas:

as de Culebra, y los

doningos, cuando las necesidades de energía eléctrica son mínimas,

un molino supliría toda la demanda eléctrica de Culebra. ? bueno

mencionar, que la Isla de Culebra está conectada al sistema eléctri-

co de Puerto Rico. Hay un cable eléctrico que conecta a través

del mar a Culebra a Vieques y hay otro que conecta @ Vieques con

Puerto Rico; todo en un sistema integr

fo. O sea, nosotros le su-

plimos la enerofa a Culebra y Vieques desde las plantas generadoras

?que tenenos en la Isla de Puerto Rico.

Todas Jas maneras de producir energia tienen sus problemas an-

dientales. Antes de instalar el mol ino hubo que estudiar 1a migración

de aves para asegurarnos que cuando instalésenos ?1 mo

10 no apa

recieran los pijaros en su trayectoria migratoria y chocaran con las

?spas del molino, Hubo también que estudiar el problena de las hondas

de radio y televisián para asegurar que el proyecto no afectarta 1a

transmisián de estos. £1 molino esté disefado pare vientos hurace~

rnados. Cuando haya un huracin, 1as aspas del molino se colocan pa~

ralelamente a a direccián de los vientos. Como pueden notar toga

nueva tecnologta ofrece nuevos problemas tecnolésicos que hay que

considerar. Basicanente e! molino de viento de Culebra es una nueva

?aplicaci3n de unas t3cnicas conocidas desde hace afos.

---Page Break---

OTEC:(Energta d3o8ano

Las aproximadanante 8.4 millones de millas cibices de agua del ec3ano cubren m3s del 70% de 1a superficie de lo tierra y reciben

Ja mayorta de 12 energfa solar, principalmente entre las latitudes 35norte y 35°sur. Actualmente entre los tr3picos de C3ncer y Ca~ Pricomto, 90% de 1a superficie es agua, En este cintur3n tropical, donde se rectbe una gran parte de 1a energfa solar que llega al planeta Tierra, hay mis de 40 nacienes con acceso al mar inelutdos

Pr&cticamente todos los hermanos pafses de Latinoan3:

a. Esta

faja es una celda de energfa inextinguible, ya que cada milla et

bica de agua de mar contiene un trillón (10¹²)BTU, debido a la diferencia en temperatura entre la superficie y la profundidad. Gnicamente, Debemos recobrar esta energía para producir electricidad

¿ desarrollar productos que necesiten energía intens

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,

---Page Break---

El Ciclo Carnot nos da una Idea de la eficiencia máxima teórica

que se puede conseguir para transformar calor a energía en condi-

ciones ideales. Si T_H es la temperatura del cuerpo caliente y T_C

la temperatura del cuerpo frío

» la eficiencia máxima teórica es dada

donde las temperaturas estén en grados Rankine. Si se genera vapor a 275°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 ejemplo no se toman en consideración las pérdidas térmicas, 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 x 10⁶ 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. ¿1

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

---Page Break---

=

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 océano-térmica consiste de una tubería y bombas para

traer agua fría de las profundidades

1 océano,

calor de temperatura alta (evaporador), turbo-generador y 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,

temas,

quios, localización y producto Final que se puede elaborar

en ellas. Como ejemplo tenemos:

a) estructura Flotante o boya semisunergida

b) construcción de hormigón, plástico o metales

?) Intercambiadores de calor de tubos o pla

4) 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

caústica, 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

---Page Break---

FIGURA 3

CENTRAL ELECTRICA OCEANO-TERMICA

EVAPORADOR

+o AGUA DE MAR CALIENTE

ALTERNADOR

P oa

AGUA DE MAR FRIA

ECONDENSADOR

AMONIA LIQUIDO

---Page Break---

CENTRAL OCEANO-TERMICA EN PERSPECTIVA

FIGURA 4

---Page Break---

n1o-

etapa de producción comercial en el menor tiempo posible. Para lo-

grarlo se han establecido las metas enumeradas a continuación:

3.

5.

Denostar para el afio 1984 1a operaci3n y el rendimiento de

luna central oceano-t3rmica que tenga intercambiadores de calor de diseho suficientemente avanzado que permitan determinar su viabilidad econ3mica.

Desarrol

Intercambiadores de calor econ3micamente 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 tamao.

Llevar 2 cabo an3lisis de encomiends y configuraci3n de las Instalaciones necesarias para usos particulares con el prop3sito de definir tales configuraciones para demostraci3n 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 tempe-

aturas del océano, la salinidad, la ecología y el clima local.

---Page Break---

one

Evaluar los procesos industriales de productos que requieren

grandes cantidades de energía en su fabricación para deter-

minar su rendimiento y confiabilidad

lad en un medio-ambiente ma~

tino.

8. Adaptar y desarrollar la técnica de los cables eléctricos sub-

marinos 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 capa~

acidad para uso en centrales de un megavatio eléctrico a me-

diados de! año 1979. La prueba se realizará en una barcaza

existente.

2. Construcción y prueba de una central de cinco megavatios elée~

tricos pa

1 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 mon-

tenido en una estructura especial con capacidad para aceptar tres

módulos at

omódulos, los cuales serán añadidos para el año 1985

incrementando la capacidad hasta un máximo aproximado de 100 mega-

vatios. El modelo de demostración de 100 megavatios será el prototipo para

las centrales comerciales. Cada módulo de 25 megava-

podré incorporar

---Page Break---

ae

iferentes diseños de componentes de tal modo que se obtenga el mayor

conocimiento del proyecto.

Entre cada etapa mayor, se cubrirá un sinnúmero de etapas ?inter
medias para resolver problemas y evaluar alternativas que le darn

forma definida @ 1a central prototipo. Hasta el presente se ha deci-
dido que 1a primera central de demostración ser para product elec-
tricidad. EstaS montada sobre una estructura flotante, se utilizaré

el ciclo eer

160 con intercambiadores de calor del tipo de tubos y e!

Fluido termodinámico será anonia.

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 conocidas en los diferentes campos de 1ª 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 ci

trabajo 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 agua y el cable eléctrico submarino para traer la energía a tierra, se requiere trabajo de desarrollo y prueba a partir de sistemas conocidos.

---Page Break---

one

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

@ varias millas al Este de 1a 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 Mayagüez 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 profun-

didades de 1,000 metros diferencias de cerca de 25°C se pueden medir

---Page Break---

ie

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 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 el sitio a escogerse entre Puerto Rico

? Islas Virgenes.

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 insta

laciones de tamaño moderado, e1 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

---Page Break---

TEMPERATURA EN GRADOS CENTIGRADOS

200]

400}

soo}

PROFUNDIDAD EN METROS

800}

PUNTA TUNA, PUERTO RICO

PERFIL DE TEMPERATURA VS. PROFUNDIDAD

FIGURA 5

---Page Break---

a5

sujetas a la periodicidad de 1a radiación solar diaria y a le incon

sistencia de los vientos ni adolecern de las desventajas que ti

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 (amoníaco), combustibles (hidrógeno) y metales (aluminio) y otras. Usos adicionales incluirán la promoción de maricultura por medio de los, nutrientes. (fos

fatos 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.

Se océano-térmicas operando en medio del mar

El concepto de central

ha sugerido la creación de centros de energía para la manufactura de

Productos múltiples. Puerto Rico podría obtener 1

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 re-

sultar altamente beneficiados. Con ello conseguiríamos la creación

de millones de empleos y 10 inyección de vitalidad que necesita nuestra

economía.

---Page Break---

6

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

factibles 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 fondos de 2,000 pies de profundidad. Estos tubos son del orden de 100 pies de diámetro con paredes de 263 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.

---Page Break---

a7

También opinan que es necesario atraer las organizaciones comerciales, industriales y profesionales necesarias para dar respaldo 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 con-

servadoras 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 tipos son poco frecuentes en las regiones tropicales donde posiblemente se instalen las primeras centrales océano-

es de uso mucho más cor-

térmicas. El petróleo existe 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 pre-

senta una curva de costos @ 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 1a par de 1a ofano-térmica es de \$1,400

por kilovatio de potencia, Al momento del estudio tal costo fue cal-

culado en \$2,600 por kilovatio, lo cual resulta no econéaico, pero

---Page Break---

9 vunoí

(innuvar\$) oa 10u134 30 01809

ee ee ze + 6

ov

008

002!

coz

cove,

cese.

o310NLad 130 O1Daud

?SA

?AW 001 30 WWYLNID 30 Yd VI O1S09

(#37 \$) Wild v9 30 \$01S09

---Page Break---

18

Izando intercambiadores de calor de alu-

minio se hicieron estimados que bajan tal costo a 1,120 por kilove
tio, To cual hace @ las centrales océano-térmicas más econSalicas que

su equivalente de petróleo.

Energfa Solar

El ato pasado el Gobierno Federal decidié construir una caldera
solar para producir 10 megavatios de electricidad, La planta solar
consta de una torre con una caldera de agua rodeads de una Finca de
espejos los cuales se ajustan períédicamente para reflejar 1a ener~
gta solar en 1a caldera, Al calentarse el agua se produce vapor, el

¿eval acciona una turbina generador donde se produce electricidad.

Esta operación ocurre exclusivamente de día, En Puerto Rico, promedio 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 oceánico-térmica no estamos utilizando terrenos, usamos el mar; en

hay mucho

otras palabras, la energía oceánico-térmica tiene una perspectiva

mayor para nosotros. Se sometieron nueve (9) propuestas al

---Page Break---

-19-

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

16 millones 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 podemos 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 con-

seguir los proyectos

Otro aspecto importante de la energía solar es su utilización directa en celdas fotovoltaicas para producir 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 ti

yen que bajar

como @ \$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

---Page Break---

ve

20°.

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 de-

benos 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 e

Energía abundante a precios razonables y así dese

arrrollar nuevas Industrias.

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 litro 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 kWh. ¿Qué se necesita específicamente para la fusión? En primer lugar, una mezcla de deuterio y tritio, que es hidrógeno pesado. El tritio es un isótopo de hidrógeno que se produce al chocar neutrones con litio. Como postuló

el Dr. Albert Einstein en su famosa ecuación: La energía es igual a

---Page Break---

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

¿estos neutrones

contienen el 80% de la energía generada. Así que se les atiende en un moderador, este material 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 enfrentamos con el mismo concepto que se usa en la bomba de hidrógeno, y no se ha podido llevar a cabo en una reacción controlada en un laboratorio. ¿Por qué? Esto se debe 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 par-

tefulas que estén ioniza

6 0 cargadas tienden a repelerse. Conse-

cuentenente hay que buscar alguna manera de unir estas partfculas y

?1 problema es que con las temperaturas son del orden de 10 millones

de grados centfgrados, no hay materiales que resistan esas tempera

turas. Por lo tanto se trata de unir estas partfeulas por medio de

campos magnéticos un tiempo suficiente para que puedan reaccionar al

deuterio y al tritén en el plasma, y ocurrir 1a reacción de fusién.

Cuando se lleva 2 cabo en el laboratorio esta reacción hasta ahora

---Page Break---

2

se esté invirtiendo mis energfa que 1a energfa que se récobra. 0

sea, hay que lograr conseguir una densidad alta de plasma y una

temperatura alta y mantener las partfculas juntas el suficiente

tempo para que ocurra el evento de fusión. Claramente 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.

Malicemos, aunque brevemente, cuatro prototipos que se estén

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 está también en el medio y rodeado de unos imanes. En la primera el imán está en un plano específico, 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 imanes

como una línea recta en donde el plasma se maneja por unos imanes

maneja por unos imanes

bien fuertes en los terminales, de tal manera que previenen se escape

hae

afuera. Ultimamente se ha conseguido un buen desarrollo utili-

zando los rayos Laser ya que en un momento dado, se puede obtener las

densidades y temperaturas necesarias para que ocurra la reacción de

---Page Break---

fusión. Estos son los cuatro prototipos principales, en los cuales

se está tratando de desarrollar la fusión. De las asignaciones moneta-

rias presentes para desarrollar la fusión: el 65% es para el

Tokamak, el 15% es para el "theta-pinch", el 15% es para el "irror-

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 mi-

liones 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 concretas

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 logran rebasar a los rusos, los japoneses y a Europa en cuanto a realizar una reacción de fusión

donde se produzcan 10 megavatios térmicos de energía. Hay planes

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

---Page Break---

at

Todos que pueden afrontar 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 desarrollarse por medio de programas regionales
e internacionales otras fuentes energéticas autóctonas para generar
electricidad como son la energía solar, eólica, el gradiente oceánico
y la geotermia. La energía oceánico-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
puede ocupar especial importancia la utilización del bagazo de
caña y la basura para producir energía. Todas estas alternativas

estén 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.

---Page Break---

25+

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

Energía un

Próximo año se instal

1 por el Departamento Federal

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 van-

guardia 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

mucho sobre todos estos proyectos y otros más que se están estudiando

fen Puerto Rico. Una lista de todos los proyectos del Centro está en

el Cuadro 1. Debido a su posición geográfica, relaciones con Estados

Unidos, la existencia en la Universidad de Puerto Rico de un Centro

---Page Break---

26

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.

---Page Break---

ccunpRo 1

UNIVERSIDAD DE PUERTO RICO

CENTRO PARA ESTUDIOS ENERGETICOS Y AMBIENTALES (CEA)

PROYECTOS CORRIENTES OF INVESTIGACION 1/0 ADIESTRAMIENTO

vecre

1. Convapetén fa scion sore

Sora" Praddcte Wlaroyene cone Cosbuseiste

ae CetohaS ae" Conbesttbre, TSTTeses U8

2. Corso Holetataetprin

Po eee

8. proyecto Intershenctat pera Obtenir

Enaeg ha oat Se MSIE}

er fasten Eideteteas get mar fore)?

1 Gonverstan det cater Sotar en Energte

ectriee "

12. congervactén

seetrteaas

13, eetees

yDeras Herbes Tropicaies

18, Estuates sabre ty

a" Eeenca eet

16. Het

Esnmetador

Bathgate de tasorect6o por

aetrdatee

2ci6n de Snarste

Se teat Se'itaadbortacien

Seaeibies e'Te energie dete

22, Wocere Eneraéttee

rs Puerto Rice

{NUESTIGADORES PRINCIPALES.

2 UPRAP y UNIV. de E11 nots

Ns arta, PRAM

FA Marrero Uke

P Waretaon, CECA

Us Oreadass, cee

EEK, APF, OFLCENA ESTATAL OC ENERGIA

0. sasscers c£EA

Se Matar, uPRorR

vpRenP

Pus, uPR, ROM

RAL Singhs om

MoT tay, cet

F. castelién, oftetna Cstatal de Enerafe

---Page Break---

provecro

23. Estugtos mers .et6n Ambiental

cnet ar Petroquintcr

24. desulfurtzact6n nines de

Peteat

25. Producet6n ge stones

he Ge Azcear yO

Eono Fuentes Renov

2. nde, Sede y 08

sorte. Rtorave Conticnen savia de

2 0 de Tas Desttiertas de

?de taisr Eeonemice,

28. Control ge BtThareia en tos Enbatses

Adroelactrtcos ae Puerto Rice

29. iseto y demos

Aeoneicton

Ge "GEEA Guanes Cotcctores Solarer y eevulas

SStove'teveas

2. Neoneel de Marsan Trapteates

31. Estudiog ae? dacinte Acustico pare Dursticar

Aguasy-rbauetr Subsrocuctos. ee Valor

Eenaneco

32. Progucetén de Miérdgene por un Horne Setar

33. Estudtos ae Segtmentor Ocetntcos pare el

Besderelie ae Energia eel mar (oree)

34, Estudios sobre Stonase Marine como Fuente

Se Combustto

3. J degessrectin de un Statens \$01

28.

rs

ete

Beststte

pata?el Proceso

tar el Plan Extatel

Ge Enerate

yoda Téentoa 4) Servtete Estate

Extensi3n Energ3tt '

fos, tecueles

Stpert EG vetas

UVESTLOADORES PRLNGIPALES,

3. Gonesten, CEEA

+ CEEA

A. Ge Alexanders UPR-RUM

As G. Alexander, UPR-RUN

Werner, Us Ortabaat, A. Block, C&Ch

M. doin, CEA

Uv. Ortabast, ceee

2, UPR-RUM

Re

Me Intarte, ceta

ints CHER

6. Goldman, CEEA

E. Werner, EEA

ene

CEEA, Corp, Bacarét, Univ.

Oficina de Energfa, oACO, CEEA, cOTACO

y'Otres Agenciss Gubernementates 7 Priv

3. Bonnet, Director, CEEA

CHEN,

CEEA, UPR

---Page Break---