

ENERGIA AÑO 2000

Presentada por:

Modesto Iriarte, Jr., Investigador
Centro de Estudios Energéticos y Ambientales
Universidad de Puerto Rico

En:

Santo Domingo, República Dominicana
junio 4-5, 1981



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

ENERGIA AÑO 2000

Presentada por:

Modesto Iriarte, Jr., Investigador
Centro de Estudios Energéticos y Ambientales
Universidad de Puerto Rico

En:

Santo Domingo, República Dominicana
junio 4-5, 1981

ENERGIA AÑO 2000

Introducción

El tema de energía que es de nuestro interés en esta discusión está concernido con la energía mecánica a escala suficientemente grande capaz de afectar las condiciones socioeconómicas, ambientales y políticas de los pueblos. Diferenciamos esta por lo tanto de los sutiles grados de energía humana, vital o inteligente que por ejemplo animamos las formas biológicas.

El tema de energía que nos atañe está muy interrelacionado con la producción y desarrollo económico de los pueblos. De ella dependerá en sumo grado la producción agrícola, la producción industrial, la salud y el bienestar social en general. Los requerimientos energéticos de un pueblo por lo tanto dependerán estrechamente de su nivel de bienestar socioeconómico. Nuestras primeras interrogantes por lo tanto serán (1) Qué cantidad de energía se necesita?, (2) Qué fuentes pueden suplirla adecuadamente?

Población

Para predecir la cantidad de energía que se requerirá tendremos que comenzar prediciendo la población futura. Con la población futura y los niveles de bienestar socio-económico en términos de ingreso per cápita podemos predecir el producto bruto nacional.

El producto bruto nacional puede correlacionarse con el consumo de energía y esta modificarse con la elasticidad de precio-demanda. El estudio o predicción de cualesquiera de estos parámetros es de por sí una labor compleja. ¿Cuál es el número de habitantes en el mundo y en especial en Santo Domingo para el año 2000? Una simple regresión estadística sobre la población puede predecir esto con aproximación satisfactoria. Esto sería cierto si la subestructura socioeconómica y hábitos del área o pueblo en consideración permaneciera inalterable. No obstante este es el problema básico ya que la subestructura socioeconómica de los pueblos y sus hábitos están cambiando rápidamente ante los altos costos de la energía derivada del petróleo. Se requiere por lo tanto desarrollar métodos de predicción poblacional basados en parámetros que se ajusten a los cambios vislumbrados, planificados o futuras políticas a delinearse.

El informe titulado "The Global 2000 Report to the President", preparado por el Departamento de Estado de EUA y por el Consejo de Calidad Ambiental contiene quizás la última publicación sobre predicciones de población mundial, desglosándose por países y áreas. La predicción de población está basada en una función:

$$\begin{aligned} \text{Población} = & f(\text{tasa de fertilidad}) - f(\text{tasa de defunciones}) \\ & + f(\text{migración}) \end{aligned}$$

y la cual se puede reducir normalmente a una función de crecimiento compuesto de la forma: $r = \ln (P_2/P_1)/t$

donde

r = tasa de crecimiento anual promedio

P_2 = aumento total de la población en período t

P_t = población total

Dicho informe predice que para el año 2000 la población mundial habrá aumentado de 4 billones a 6.35 billones de seres. Hoy día la población mundial aumenta a razón de 75 millones de seres anualmente y para el año 2000 el aumento anual será de cerca de 100 millones de personas. La tasa de crecimiento, no obstante, se reducirá de 1.8% anual a 1.7% anual.

Esta modelación de población se presta para introducir la política nacional y los hábitos cambiantes. Siguiendo una modelación similar podríamos predecir la población del país y compararla con los pronósticos realizados hasta la fecha.

Modelos Económicos

El informe titulado "The Global 2000 Report to the President" contiene análisis de la producción económica (GNP), producción agrícola o alimentos, pesquería, necesidades de agua, minerales y combustibles así como proyecciones ambientales de contaminación y efectos en la salud hasta el año 2000. El informe contiene una serie de diferentes modelos socioeconómicos que interrelacionan la energía con los recursos naturales y el ambiente. Tales modelos incluyen:

- a) Modelos mundiales 2 y 3 (alteraciones al modelo 1 del Club de Roma)
- b) Modelo mundial Mesarovic - Pestel
- c) Modelo de Relaciones Internacionales en la Agricultura (MOIRA)
- d) Modelo Latinoamericano
- e) Modelo de las Naciones Unidas

Para dar un ejemplo de las interrelaciones que estamos hablando en los modelos mencionados observaremos algunos resultados, cualitativamente, que se producen cuando consideramos el primer modelo.

La Fig. Núm. 1-4, tomada directamente del informe San Juan 2000, realizado por el municipio de San Juan, Puerto Rico, nos ilustra gráficamente la situación socioeconómica del mundo.

La Fig. Núm. 1 es el resultado del modelo mundial normal.

Las condiciones indicadas en la Fig. Núm. 1 concuerdan con los valores históricos de 1900 a 1970 cuando la población mundial aumentó de 1,600 millones en 1900 a 3,500 millones en 1970. A pesar de que los nacimientos se reducen gradualmente, el ritmo de mortalidad declina rápidamente, especialmente después del 1940, y la razón del crecimiento poblacional aumenta exponencialmente. La producción industrial, alimentos y servicios per cápita también aumentan exponencialmente. Los recursos naturales todavía tienen en 1970 como

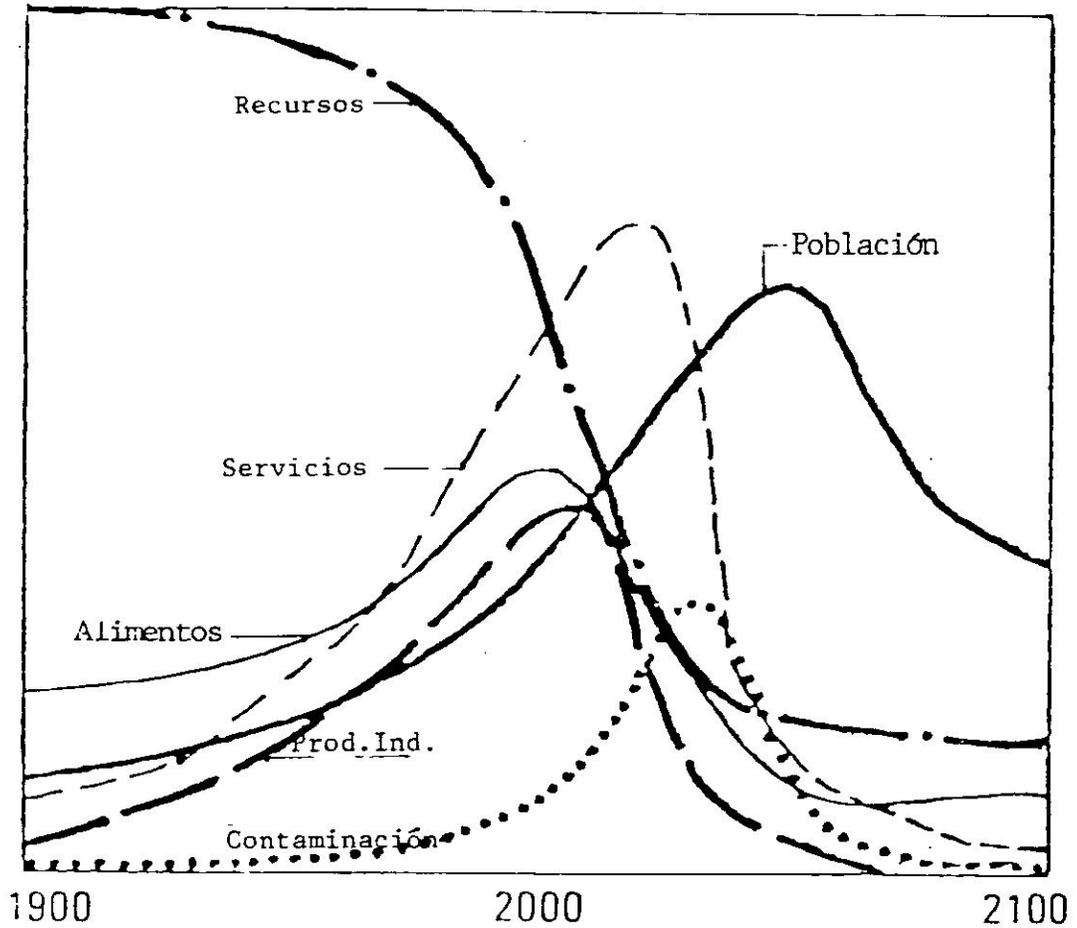


Figura Núm. 1 - MODELO MUNDIAL NORMAL

LEYENDA

- | | | | |
|-------|---|-------|--|
| ————— | Población (núm. total de personas) | ————— | Alimentos per Capita (kilogramo-grano/persona/año) |
| ————— | Producción Industrial per Cápita (\$ por persona/año) | ————— | Servicios per Capita (\$por persona/año) |
| ————— | Recursos No Renovables (fracción remanente de las reservas de 1900) | | Contaminación (múltiple del nivel de 1970) |

Fuente: Límites del Crecimiento

el 95% del valor de 1900, pero declinarán dramáticamente después de ese año con el crecimiento de la población y la producción industrial. El comportamiento del sistema sobrepasa la capacidad de asimilación del ambiente y finaliza en crisis cuando los recursos no renovables se agotan. Según los precios de los recursos suben y los depósitos se agotan, más capital debe usarse para obtener recursos adicionales y menos capital quedará para invertir en el crecimiento futuro. La inversión no puede mantenerse a la par con la depreciación y la base industrial hace crisis conjuntamente con los sistemas de servicios y agrícolas que dependen de la producción industrial. Durante un corto período de tiempo, la situación se torna muy grave al seguir aumentando la población con el retraso natural del ajuste social. Finalmente, la población disminuye cuando la mortalidad aumenta por falta de alimentos y servicios de salud. Suponiendo que no habrá cambios mayores en el sistema actual, el modelo indica que el crecimiento poblacional e industrial del mundo se detendrá durante el próximo siglo.

El grupo investigador analizó el modelo con una población estable. (Véase Fig. Núm. 2). Este análisis mantiene todas las condiciones idénticas al modelo básico, excepto que mantiene la población constante después de 1975 igualando la razón de los nacimientos con la razón de mortalidad. Mientras tanto, el resto de las reacciones positivas en el sistema envuelven el capital industrial

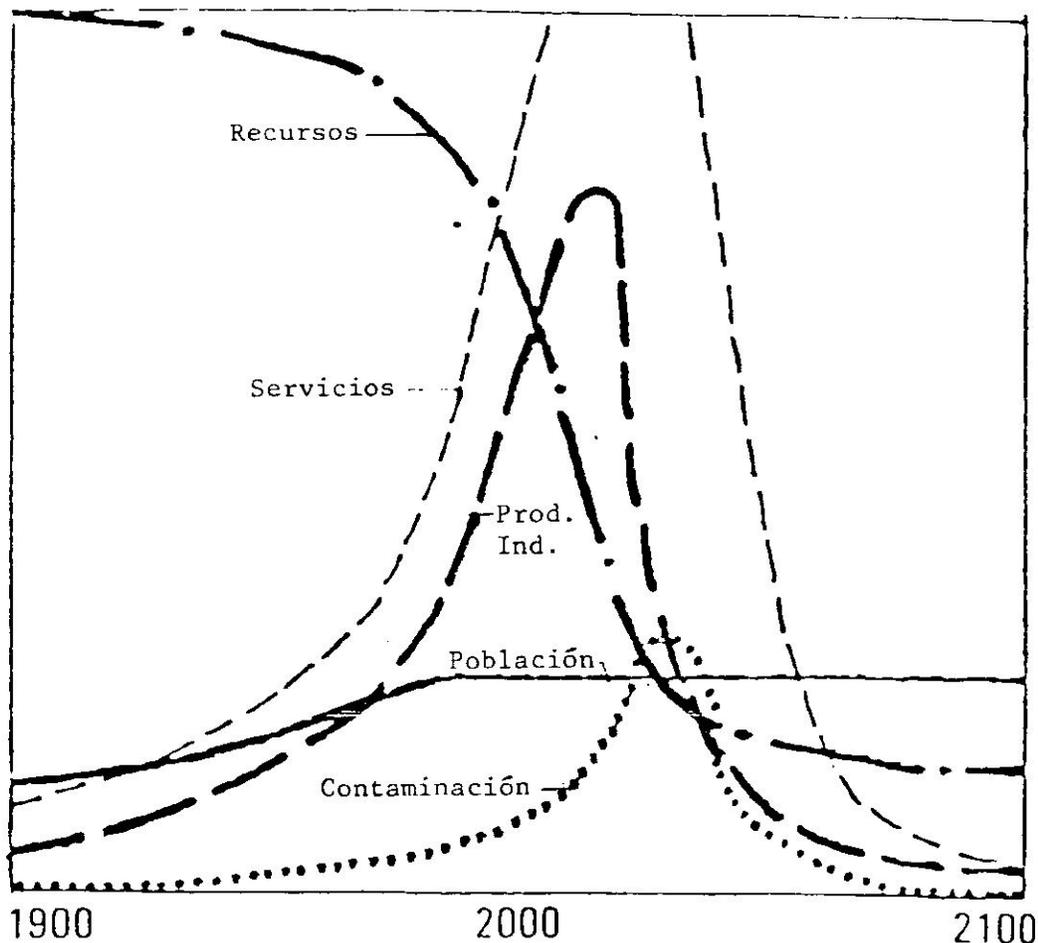


Figura Núm. 2 - MODELO MUNDIAL CON POBLACION ESTABLE

LEYENDA

- | | | | |
|-----------|---|-----------|--|
| ————— | Población (núm. total de personas) | ————— | Alimentos per Capita (kilogramo-grano/persona/año) |
| — · — · — | Producción Industrial per Cápita (\$ por persona/año) | — · — · — | Servicios per Capita (\$ por persona/año) |
| — · — · — | Recursos No Renovables (fracción remanente de las reservas de 1900) | ····· | Contaminación (múltiple del nivel de 1970) |

Fuente: Límites del Crecimiento

que continúa generando un crecimiento exponencial de la producción industrial, alimentos y servicios per cápita. El agotamiento eventual de los recursos no renovables causa una crisis rápida del sistema industrial y el colapso de la economía.

El grupo investigador analizó el modelo con una población y el capital estable. (Véase Fig. Núm. 3). El crecimiento de capital se estabilizó manteniendo el capital de inversión igual que la depreciación. Cuando el crecimiento exponencial se detiene, una condición temporeraamente estable se obtiene, ya que los niveles de población y capital son demasiado altos para agotar los recursos rápidamente. Como no se han tomado medidas tecnológicas de conservación de recursos, los recursos eventualmente se agotan y la producción industrial se reduce. Aunque la base del capital se mantiene al mismo nivel, la eficiencia del capital baja al requerirse mayor inversión de capital para buscar más recursos en vez de usarse el capital para producir productos de mayor utilidad.

Al analizar el modelo añadiéndose a las restricciones de población y capital, medidas tecnológicas de conservación, se obtiene un estado de equilibrio dinámico por largo período de tiempo. (Véase Fig. Núm. 4). Las medidas tecnológicas incluyen la recirculación de recursos, medidas de control de contaminación, aumentos vitalicios de todas las formas de capital y métodos para restaurar el suelo fértil y erosionado. Los principales cambios en los valores humanos

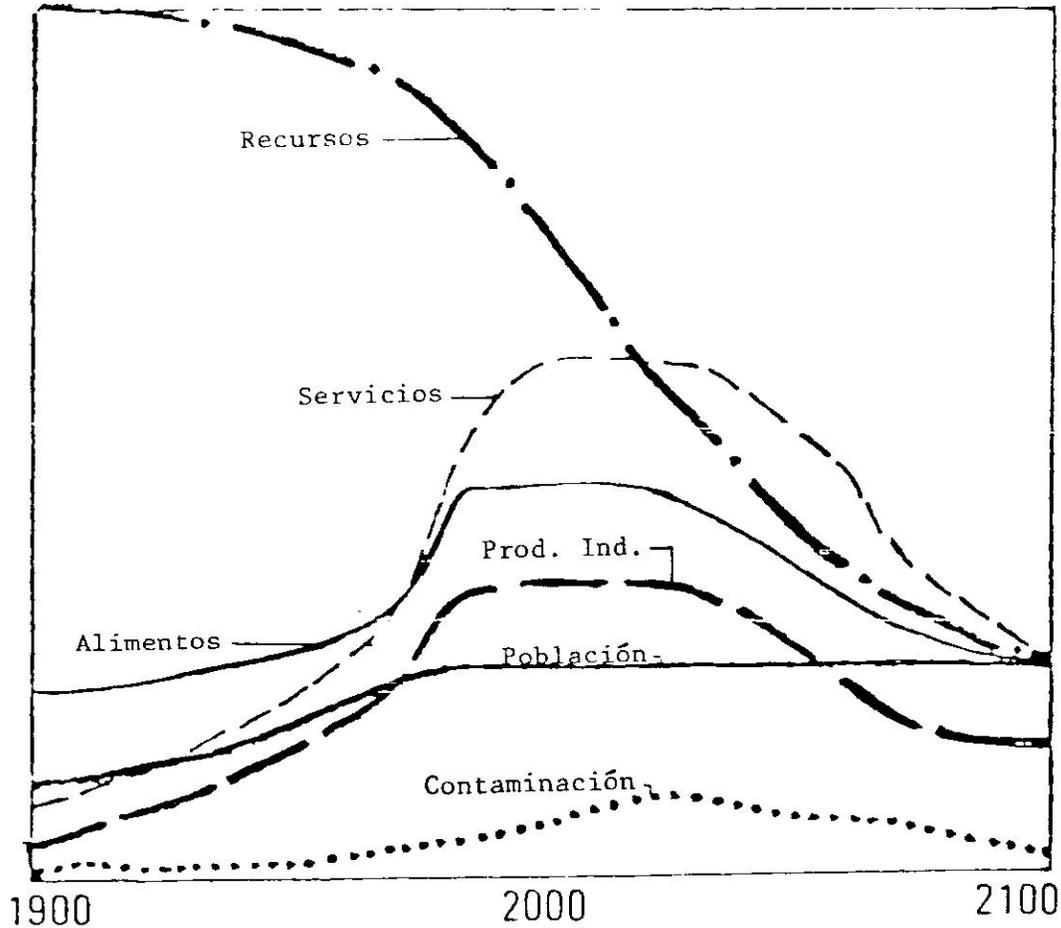


Figura Núm. 3 - MODELO MUNDIAL CON POBLACION Y CAPITAL ESTABLE

LEYENDA

- | | | | |
|-------|---|-------|--|
| ————— | Población (núm. total de personas) | ————— | Alimentos per Capita (kilogramo-grano/persona/año) |
| ————— | Producción Industrial per Cápita (\$ por persona/año) | ————— | Servicios per Capita (\$ por persona/año) |
| ————— | Recursos No Renovables (fracción remanente de las reservas de 1900) | | Contaminación (múltiple del nivel de 1970) |

Fuente: Límites del Crecimiento

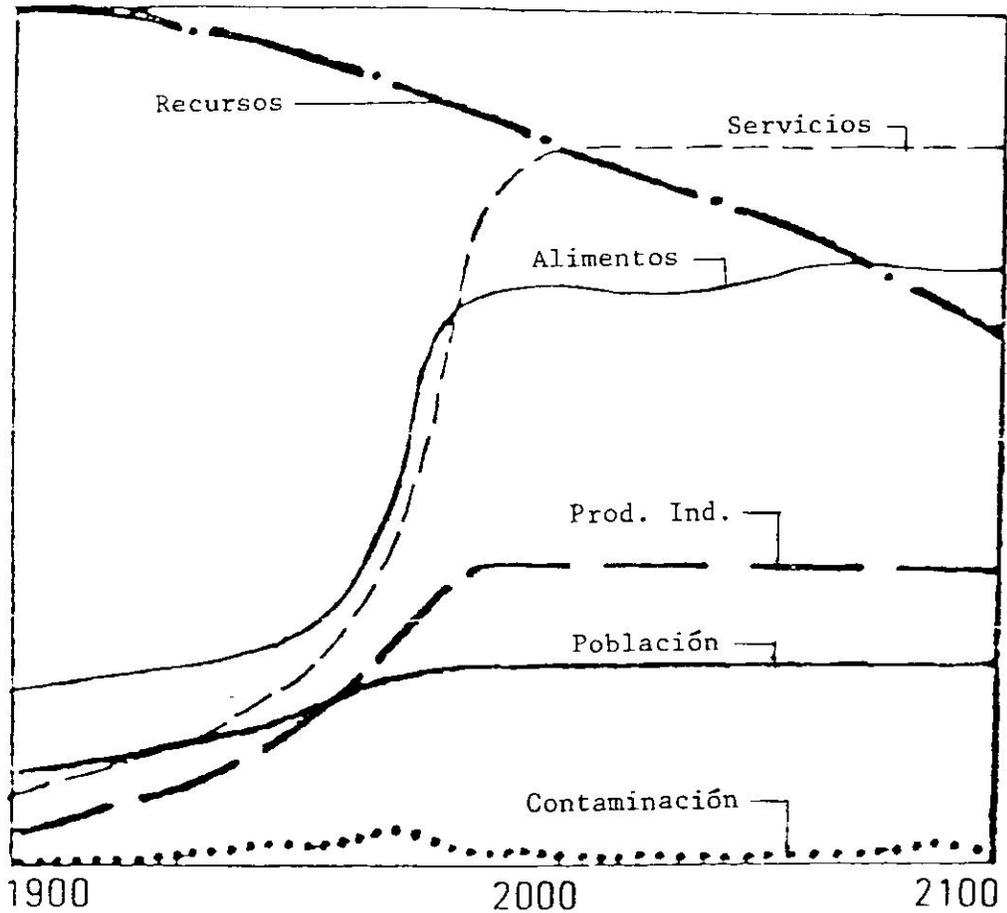


Figura Núm. 4 - MODELO MUNDIAL ESTABILIZADO

LEYENDA

- | | | | |
|-------|---|-------|--|
| ————— | Población (núm. total de personas) | ————— | Alimentos per Capita (kilogramo-grano/persona/año) |
| ————— | Producción Industrial per Cápita (\$ por persona/año) | ————— | Servicios per Capita (\$ por persona/año) |
| ————— | Recursos No Renovables (fracción remanente de las reservas de 1900) | | Contaminación (múltiple del nivel de 1970) |

Fuente: Límites del Crecimiento

incluyen un aumento en el énfasis sobre la producción de alimentos y servicios en vez de sobre la producción industrial. El modelo señala que un valor estable de la producción industrial per cápita sería tres veces el valor del promedio mundial del año 1970.

Siempre será debatible predecir cuando será que ocurrirá la crisis mundial, ya que los avances tecnológicos han logrado aplazar este momento. Sin embargo, los recursos no renovables se agotarán tarde o temprano debido a que el planeta es un sistema finito. Quizás la falla principal del Modelo Mundial sea haber establecido la cantidad de recursos no renovables basado en las reservas conocidas. Hasta la fecha, la ciencia y la tecnología han logrado descubrir nuevos yacimientos aumentando extraordinariamente las reservas disponibles. Deberá esperarse que la ciencia y la tecnología sigan aumentando las cantidades de las reservas conocidas exponencialmente. En el 1955 se pronosticó que las reservas conocidas de petróleo se agotarían para el año 1975, pero actualmente todavía quedan reservas para 30 años más al ritmo del consumo actual y posiblemente, se descubran 20 ó 30 años más de reservas para el año 2000. Cualquier estimado de reservas totales del Mundo seguirá siendo una especulación hasta que se cuente con técnicas de estimados más precisos.

De sumo interés para los países en América es el Modelo Latinoamericano desarrollado por investigadores en Buenos Aires, detalles del cual se encuentran en el informe aludido. No entraremos por

ahora en más detalles en cuanto a la interrelación de la energía con los demás parámetros socioeconómicos. Solo nos basta con apuntar que la energía es uno de los fuertes pilares que sostienen el edificio de la vida socioeconómica de un pueblo y que esta tiene que considerarse en conjunto con los demás valores. Nuestro interés, no obstante, es enfocar sobre la energía.

Modelos Energéticos

Una vez establecidos los criterios de población futura, producto bruto nacional y política nacional, la predicción del consumo de energía puede realizarse bajo ciertas presunciones de precio de la energía y elasticidad de precios.

El informe "Energy in Transition 1985-2010", preparado por el National Research Council (NRC) de la Academia Nacional de Ciencias de E. U. contiene una descripción del modelaje utilizado por un grupo de investigadores de modelajes. El modelo utilizado empleó métodos econométricos que envuelve el efecto del GNP, niveles de consumo y varios panoramas de descubrimiento de recursos adicionales.

No obstante, para una subestructura poco variable podemos correlacionar directamente el consumo de energía con el producto bruto nacional como lo hemos hecho en el reciente estudio de "Energy Analysis and Socio Economic Considerations for Puerto Rico".

El estudio de la NRC es muy interesante ya que este discute escenarios con las varias alternativas de fuentes renovables de energía como la energía solar.

Escenarios de Energía

El estudio "Energy Analysis and Socio Economic Considerations for Puerto Rico" comienza con un análisis de los requerimientos energéticos de Puerto Rico hasta el año 2020. Este análisis se hace a base de una predicción por regresión lineal de la población seguido de una correlación entre la población y el producto bruto nacional. El producto bruto nacional se correlaciona directamente con el consumo de energía eléctrica. Estas simples relaciones presumen que la subestructura del sistema económico no ha cambiado. No obstante, los resultados se consideran adecuados para desarrollar escenarios del uso de fuentes alternas de energía con el propósito de predecir los años en que dichas alternativas pueden ser viables económicamente. Otros combustibles como gasolina y aceite diesel fueron proyectados utilizando una regresión estadística. El cuadro total del consumo de energía fue desarrollado en esta forma hasta el año 2000. Esta información fue utilizada para desarrollar posibles escenarios utilizando diferentes alternativas energéticas.

Primeramente el estudio enfoca sobre los costos de producción de energía eléctrica por métodos disponibles comercialmente en la

actualidad utilizando los combustibles de (a) Carbon, (b) Uranio y (c) Petróleo. Una vez determinados estos costos para centrales eléctricas para las próximas dos décadas - hasta el año 2000 - estas se utilizan como base para competir por las alternativas de fuentes renovables que están al presente en desarrollo y que incluyen - sistemas fotovoltaicos, sistemas de combustión de biomasa, sistemas oceanotérmicos y energía eólica.

Evaluaciones Económicas Centrales de Energía

La Fig. 5 nos ilustra esquemáticamente el modelaje utilizado por el CEEA para evaluar estas alternativas.

El modelaje de predicción de los costos capitales o de inversión de la alternativa resultan relativamente sencillos para las alternativas que utilizan carbón, uranio o petróleo ya que estos tienen historial acumulado.

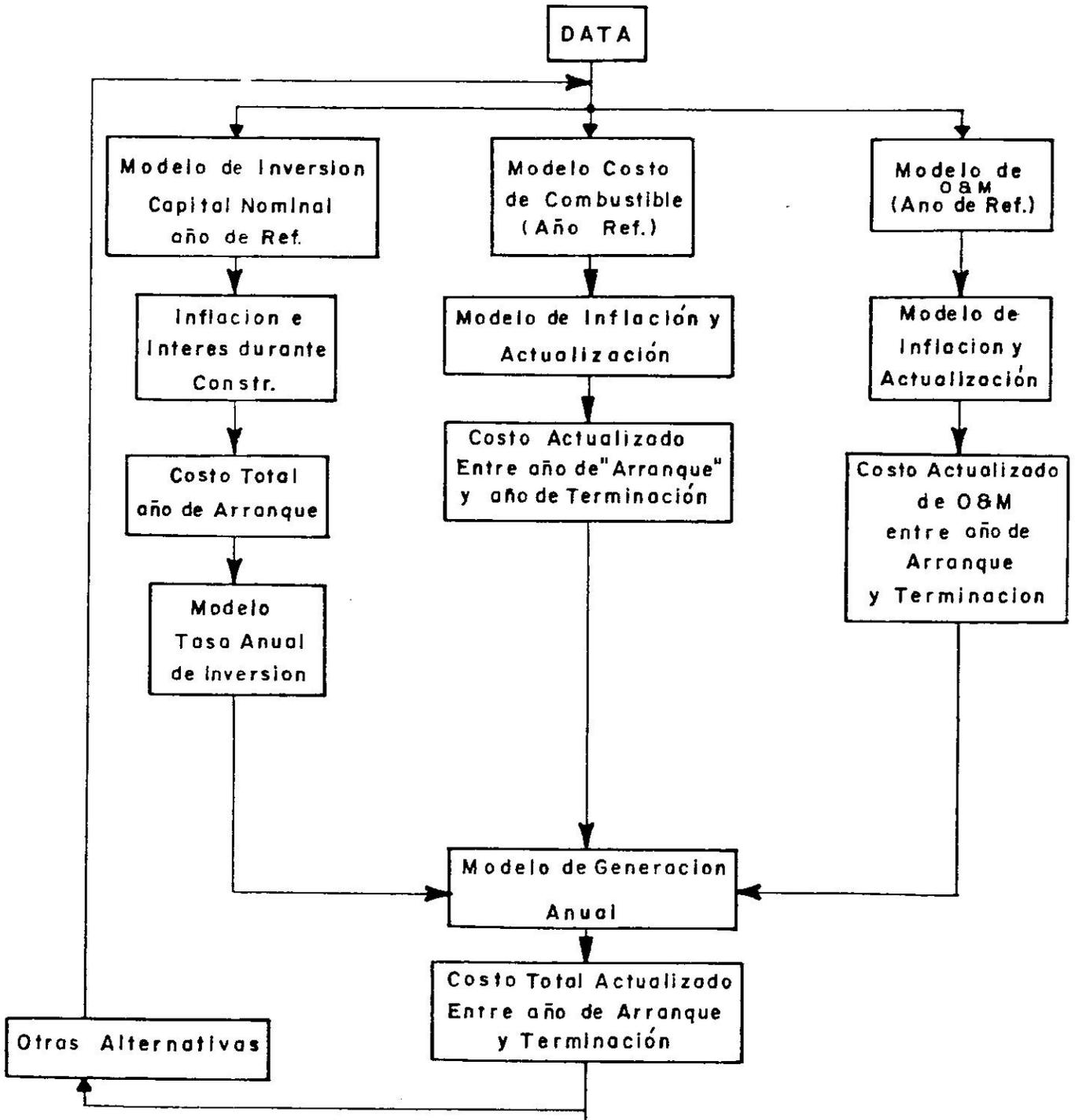
Para las alternativas en desarrollo se tiene que presentar una curva de aprendizaje que da la relación de reducción de costos en la fabricación del equipo según se construyen más unidades debido al aprendizaje (desarrollo de técnicas más económicas).

Daremos mayor atención a la central a base de carbón ya que sabemos que resulta de gran interés en este país.

La evaluación de los costos de una central de carbón recibió estudio muy detallado y cuidadoso ya que esta resulta en la

Figura 5

MODELO CEEA PARA EVALUACION DE COSTOS DE ALTERNATIVAS ENERGETICAS



alternativa más económica y viable económica y políticamente. La alternativa nuclear resulta en los costos más bajos pero esta no es considerada viable desde el punto de vista socio-político.

La Fig. Num. 6 nos indica el costo básico de inversión en Puerto Rico, que estimamos aproximadamente el mismo que en Santo Domingo de una unidad a base de carbón en términos de dólares de 1978. Estos costos no incluyen condiciones especiales del sitio tales como carreteras, líneas eléctricas, puerto y sistema de manejo del carbón del puerto a lugar de almacenaje, condiciones especiales del subsuelo, lagos de almacenaje de efluentes, etc. La central incluye, no obstante, lavadores de gases (Flue gas desulfurization) y precipitadores electrostáticos.

Los costos de lavadores de gases sulfuroseos pueden evaluarse en términos de dólares de 1978 de la siguiente relación:

	<u>\$/KW Neto</u>
450 MW	100
854 MW	85
1232 MW	75

La inflación e interés durante la construcción y/o planeamiento de la central debe de tomarse en consideración utilizando fórmulas adecuadas según desarrolladas en el estudio del CEEA.

Los costos de combustible recibieron un detallado estudio.

La Fig. 7 nos ilustra los costos promedio del carbón utilizado por la industria eléctrica en Estados Unidos. Hemos estimado que a

Figura 6

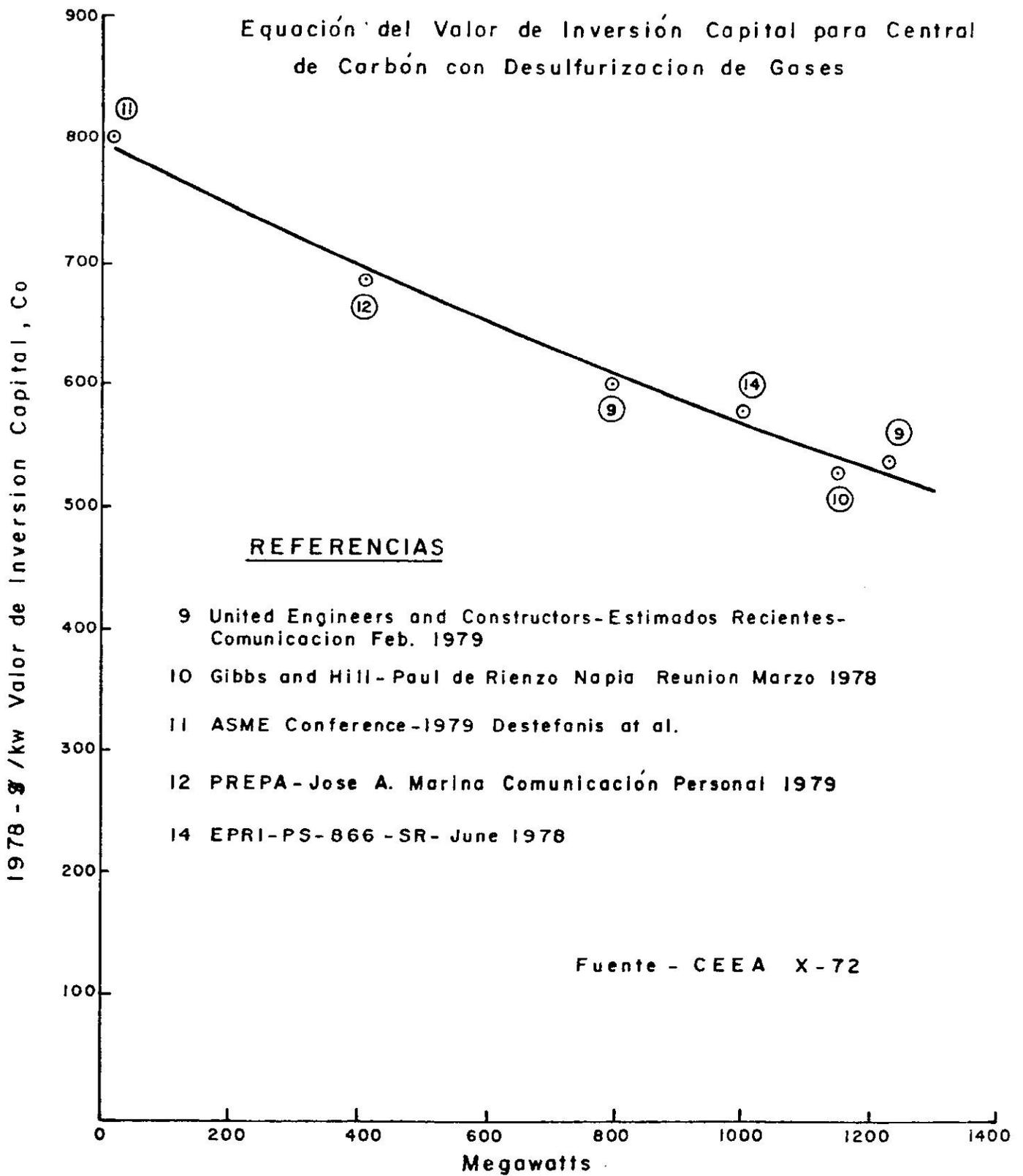
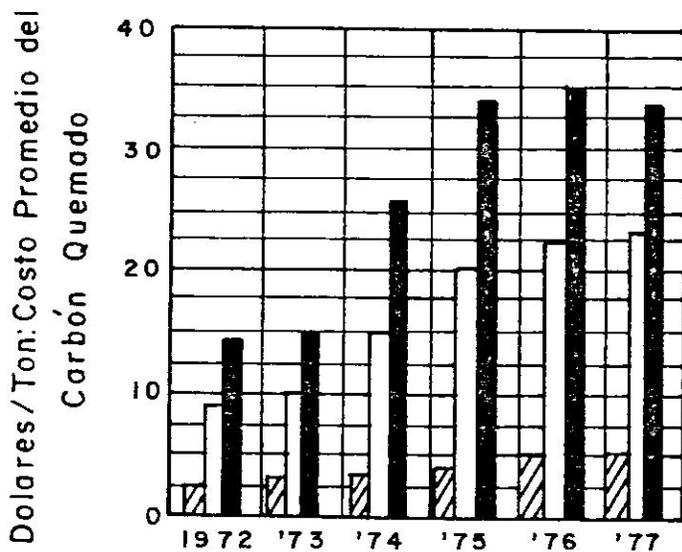
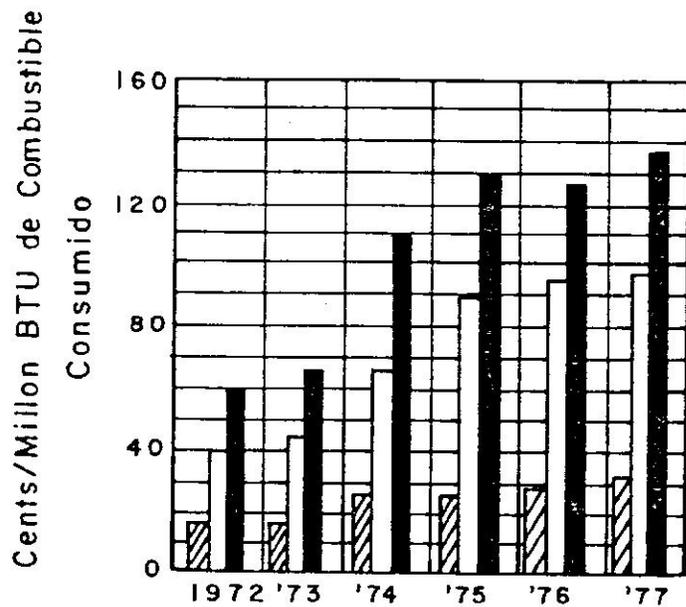


Figura 7

Costo Promedio del Carbon Quemado por Compañías Electricas en E. U. durante 1972-77



Fuente: Power Engineering Review-mayo 1978

Valor Bajo  Promedio  Alto 

base de los precios de 1978 el costo del carbón en Puerto Rico podría ser tan bajo como \$1.82 por millón de BTU. Estos deben de escalarse adecuadamente según la inflación en costos de equipo utilizado en los mismos, y en la transportación y según discutido en el estudio.

Los costos de operación y mantenimiento de una central de carbón fueron desarrollados siguiendo una publicación del Laboratorio Nacional de Oak Ridge, Tenn. (ORNL/TM-6467 Jan. 1979).

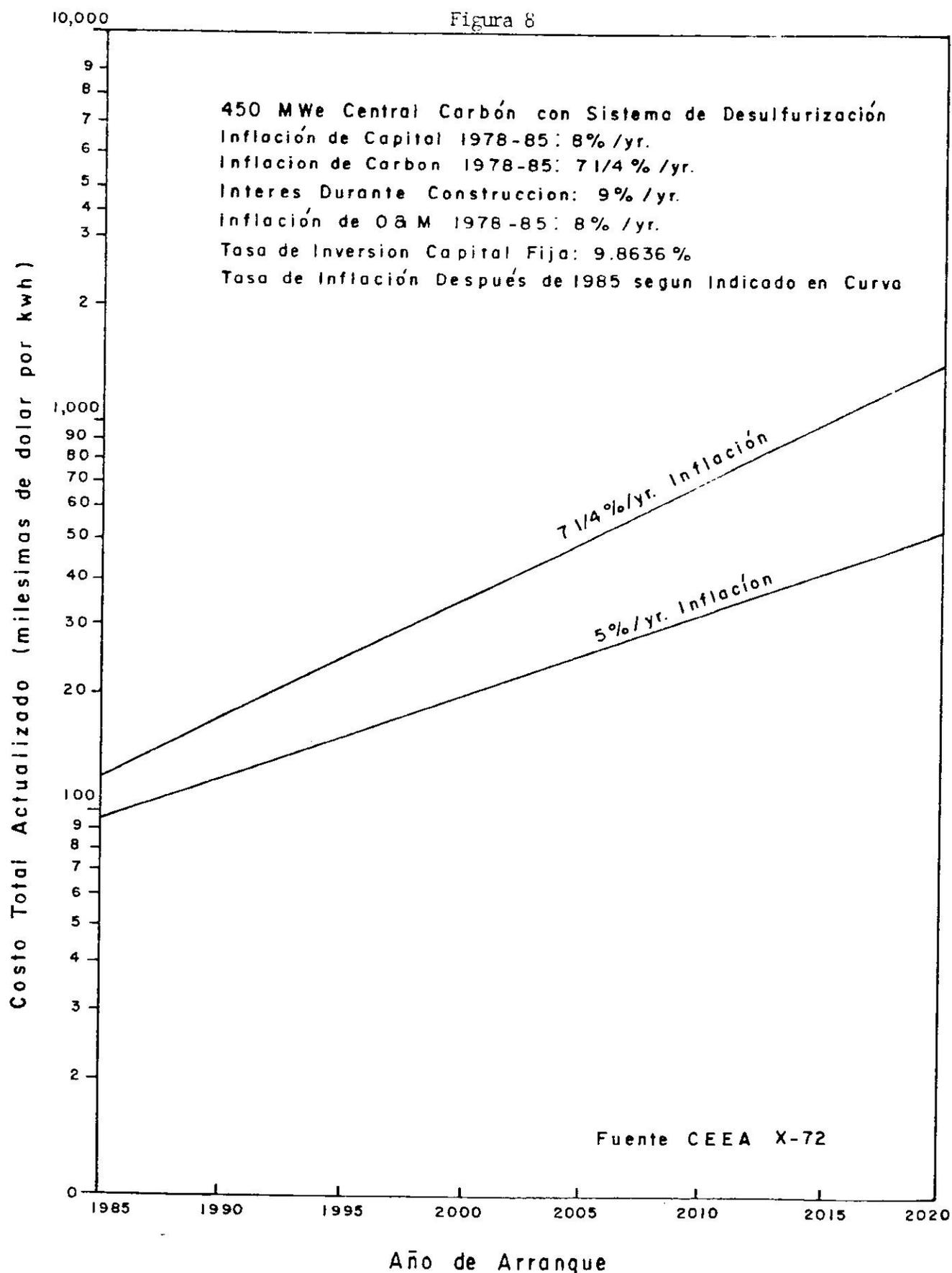
Los costos de operación y mantenimiento se correlacionaron con (a) el número total de personal, (b) el personal adicional para operar el sistema de desulfurización, (c) generación anual en kw-hr, (d) las toneladas de azufre quemadas anualmente, (e) la capacidad de la central y (f) un cargo fijo.

Los costos de operación y mantenimiento deben de actualizarse para incluir la inflación en los salarios durante la vida de la planta.

La Fig. 8 nos ilustra el costo de la energía eléctrica proveniente de una central de carbón de 450 MW de capacidad con dos valores diferentes de inflación.

La ordenada de la gráfica indica el costo actualizado tomando un promedio de 30 años de vida de la planta y la abscisa nos indica el año en que inicialmente comienza la operación de la central. Según podemos observar en el período de 15 años entre 1985 al 2000 los costos actualizados de una nueva central puesta en operación en el año 2000 resultan más de dos veces de los costos de operación de

Figura 8



una central puesta en operación en el año 1985.

La gráfica Núm. 9 nos ilustra el resultado de las varias alternativas estudiadas.

De esta última gráfica observamos, que excluyendo la energía nuclear, la biomasa resulta la más económica seguida por la central de carbón. La central oceano-térmica OTEC comienza a competir con carbón para el año 1995 al igual que los sistemas fotovoltaicos. El costo de la biomasa fue determinado a través de una experimentación acompañada con un proyecto piloto a un costo de cerca de \$1.5 millones. La Fig. 10 nos ilustra el modelo utilizado.

La energía del viento aunque resulta atractiva cuando se compara con centrales de petróleo, esta no puede competir favorablemente con las otras alternativas en el escenario de Puerto Rico.

Conociendo los años en que pueden resultar económicas las varias alternativas y teniendo un cuadro anterior de las necesidades de energía eléctrica la Tabla I representa un posible escenario lógico para Puerto Rico. La Tabla II representa la economía en combustible de petróleo que puede obtenerse con el escenario anterior.

El impacto en la economía de Puerto Rico de una fracción de este escenario en términos de aumento en producto bruto y número de empleos adicionales se evaluó y está reportado en dicho estudio.

Figura 9

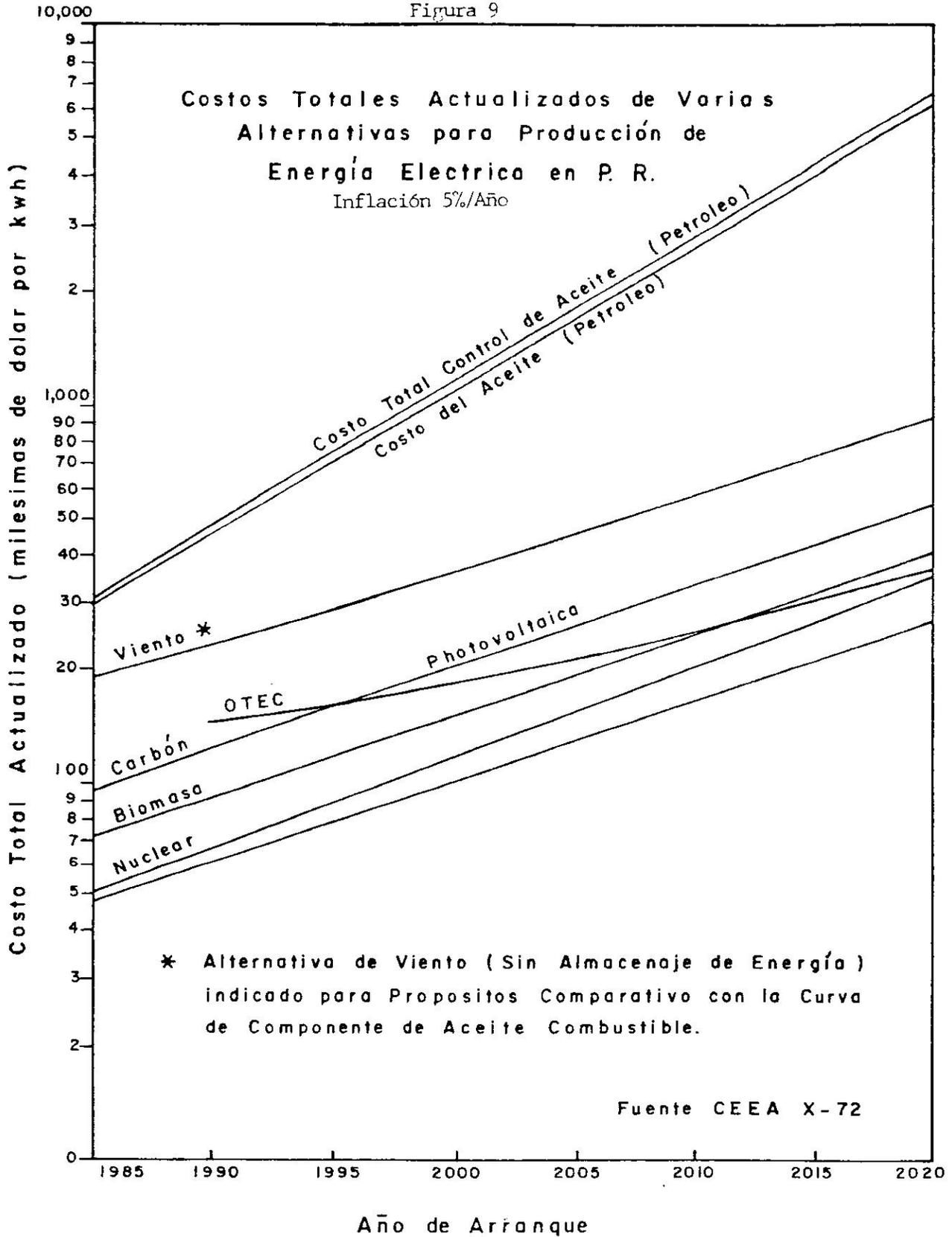


Figura 10

DIAGRAMA PARA DETERMINAR COSTOS BIOMASA

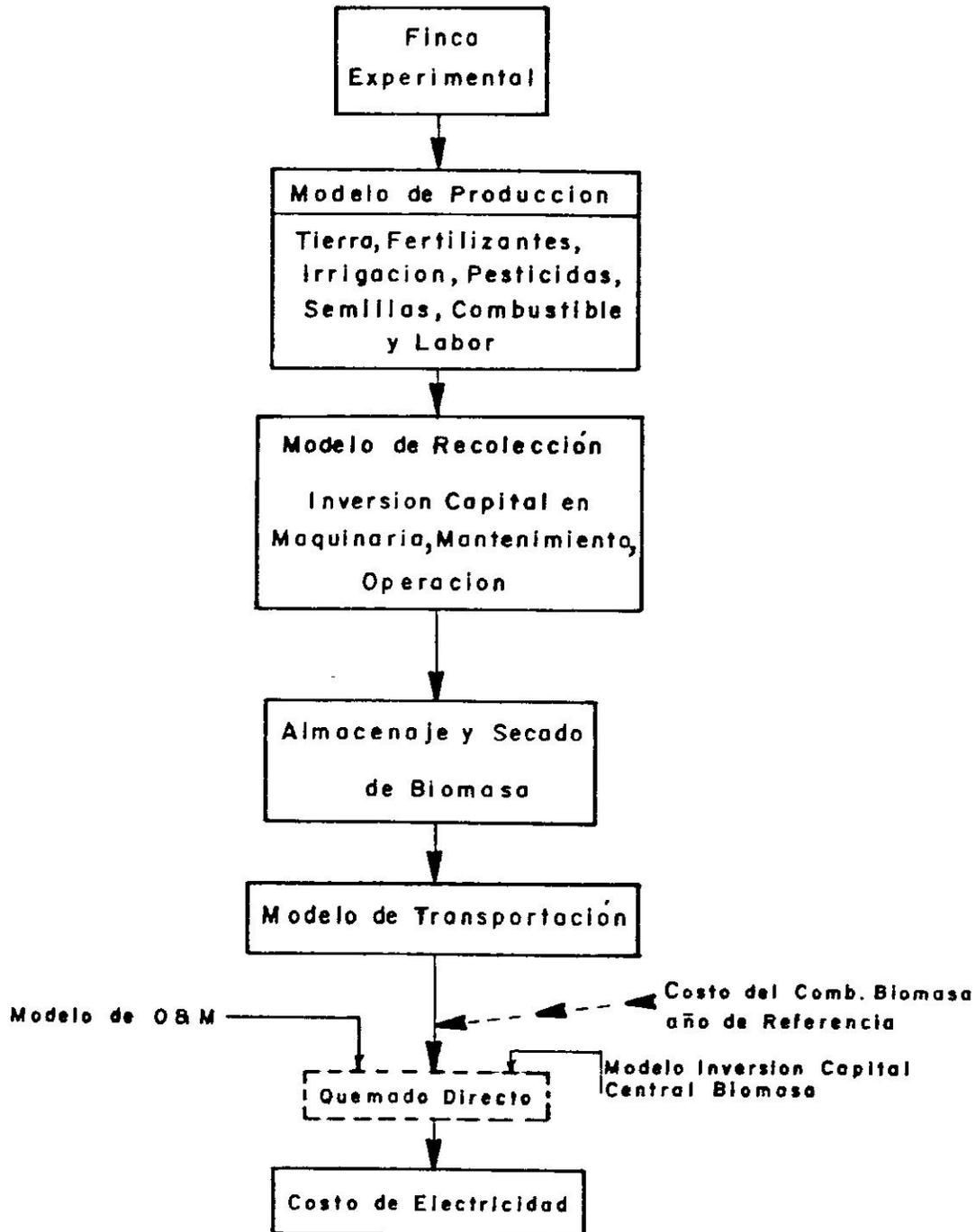


TABLA I

ESCENARIO PROPUESTO DE PLANTAS ELECTRICAS A DESARROLLARSE
HASTA EL AÑO 2000

Año	Biomasa	OTEC	Fotovoltaico	Viento	Carbón
1980-84	-----	-----	-----	200KW	-----
1985	-----	1-40MW	-----	-----	1-300MW
1986	1-300MW	-----	-----	-----	-----
1987	1-300MW	-----	-----	-----	-----
1988	-----	-----	-----	12.5MW	-----
1989	-----	-----	-----	-----	1-400MW
1990	-----	-----	-----	-----	1-400MW
1991	-----	1-250MW	-----	-----	-----
1992	-----	1-250MW	-----	-----	-----
1993	-----	-----	1-250MW	-----	-----
1994	-----	1-250MW	-----	-----	-----
1995	-----	-----	1-250MW	-----	-----
1996	-----	-----	-----	-----	-----
1997	-----	-----	-----	-----	-----
1998	-----	1-500MW	-----	-----	-----
1999	-----	1-500MW	-----	-----	-----
2000	-----	-----	-----	-----	-----

TOTAL: 4202.5 MW

TABLA II

MILLONES DE BARRILES DE PETROLEO A SER DESPLAZADOS POR EL ESCENARIO
PROPUESTO EN TABLA I
(Centrales a 75% Factor de Capacidad)

Año	Biomasa	OTEC	Fotovoltaico	Viento	
1980-84	-----	-----	-----	-----	
1985	-----	.438	-----	-----	
1986	3.285	.438	-----	-----	
1987	6.57	.438	-----	-----	
1988	6.57	.438	-----	.09	
1989	6.57	.438	-----	.09	
1990	6.57	.438	-----	.09	
1991	6.57	2.74 (c)	-----	.09	
1992	6.57	5.48	-----	.09	
1993	6.57	5.48	2.74	.09	
1994	6.57	8.22	2.74	.09	
1995	6.57	8.22	5.48	.09	
1996	6.57	8.22	5.48	.09	
1997	6.57	8.22	5.48	.09	
1998	6.57	13.70	5.48	.09	
1999	6.57	19.20	5.48	.09	
2000	6.57	19.20	5.48	.09	
Total:	95.265	101.308	38.36	1.17	236.103

(a) Presumiendo 600 kwh/BBL

(b) Energía calculada del viento disponible y características de la turbina

(c) Presume central OTEC experimental de 40 MW es retirada

En resumen, sometemos estas ideas a grandes rasgos para describir un cuadro energético-socioeconómico ameno para investigación detallada en la querida hermana República Dominicana.

El CEEA está en la mejor disposición de colaborar con la República en estos menesteres.

Muchas gracias.

Referencias

- 1) "The Global 2000 Report to the President" - Un informe preparado por el Consejo de Calidad Ambiental del Departamento de Estado (USA). Gerald O. Barney - Director del Estudio.
- 2) "San Juan 2000" - Un informe preparado por el Municipio de San Juan - 1977.
- 3) "Energy in Transition 1985-2010" - Comité de Energía Nuclear y Fuentes Alternas de Energía - Consejo de Investigación Nacional (National Research Council) de la Academia Nacional de Ciencias-Washington, D. C. USA, Año 1979.
- 4) "Energy Analysis and Socio-Economic Considerations for Puerto Rico" - Modesto Iriarte, Jr. et al. Centro de Estudios Energéticos y Ambientales de la Universidad de Puerto Rico.
- 5) "Power Engineering Review" - mayo 1978.
- 6) "A Procedure for Estimating Non-Fuel Operation and Maintenance Costs for Large Steam Electric Power Plants", M. L. Myers and L. C. Fuller, ORNL/TM-6467, Jan. 1979.