



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

---

FACULTAD DE INGENIERIA

El Programa de Energia de México  
Análisis y Alternativas

**TESIS PROFESIONAL**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

**I N G E N I E R O**

P R E S E N T A:

**JUAN NAVA REYES**

**1982**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## INDICE

### INTRODUCCION.

- CAPITULO I.- Situación actual de la oferta y el consumo de energía en México. I
- CAPITULO II.- Métodos de conservación y uso eficiente de energía. 1.4
- CAPITULO III.- Análisis de las nuevas fuentes de energía y las nuevas tecnologías energéticas. -- 50 .
- CAPITULO IV.- Evaluación de los recursos energéticos de México y análisis de las opciones energéticas. 107

## INTRODUCCION.

El propósito de este trabajo es analizar el programa de Energía, elaborado por la Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial y publicado en el diario oficial del 4 de febrero de 1981 y proponer algunas alternativas a las <sup>meta</sup> metas 1990 y proyecciones al año 2000 planteadas en dicho programa.

Se expone primero la situación actual de la oferta y el consumo de la energía en México. Se analizan después los métodos para la conservación y el uso eficiente de la energía, las nuevas fuentes de energía y las nuevas tecnologías energéticas. A continuación se expone la información sobre los recursos energéticos de México, los cuales se comparan con la demanda futura de energía estimada. Para concluir se analizan las opiniones energéticas de México y se señalan las ventajas y desventajas de diferentes opiniones, comentando críticamente algunas de las propuestas del Programa de Energía.

C A P I T U L O I

SITUACION ACTUAL DE LA OFERTA Y CONSUMO DE ENERGIA EN MEXICO

I.- DEFINICIONES GENERALES.

**ENERGIA:** Capacidad que posee un cuerpo o sistema para conducir trabajo o calor mediante la transformación de un estado natural.

**FUENTE DE ENERGIA:** Es un cuerpo o sistema del que se pueden obtenerse energía.

**ENERGIA PRIMARIA:** Es la energía potencial contenida en los agentes conductores de la misma, tal como se encuentran en su estado original.

Las principales energías primarias son:

- a) carbón mineral
- b) el petróleo crudo
- c) el gas natural
- d) el uranio
- e) las corrientes hidráulicas
- f) la geotermia
- g) energía solar.

Solo en algunos casos pueden consumirse las energías primarias en su estado original. En general es necesario someterlas a múltiples transformaciones.

Ejemplos: El petróleo crudo se refina para obtener

a) La evaluación del coeficiente de conversión de la energía eléctrica primaria, que depende de la eficiencia del conjunto de las instalaciones termoeléctricas.

b) Este método no hace explícitas las pérdidas de transformación en el sector eléctrico, puesto que todos los KWh producidos (hidroeléctricos, térmicos, nucleares) se consideran equivalentes, como si hubiesen sido producidos en una planta termoeléctrica.

c) Por lo anterior este método resalta la importancia de la electricidad de origen hidráulico o nuclear en <sup>e/</sup> el balance total.

d) El hecho de contabilizar la energía eléctrica primaria en TEP permite evaluar la cantidad de energía primaria fósil que se hubiera quemado, o la cantidad "combustible fósil ahorrado" al utilizar plantas hidroeléctricas o nucleoeeléctricas.

### 3.- Método híbrido.

Este método ha sido utilizado desde 1978 por la Comisión de Energéticos en México.

Recurre al método del contenido energético para poder contabilizar las pérdidas de transformación en las centrales termoeléctricas y al método de sustitución parcial cuando se trata de evaluar las energías eléctricas primarias;  $1 \text{ KW/h} = 860 \text{ Kcal}$  siendo la eficiencia de conversión promedio del conjunto de centrales termoeléctricas.

4.- Comparación de los tres métodos.

La tabla (I) permite visualizar las diferencias esenciales entre los tres métodos presentados. Se consideró el caso de país imaginario de fin del siglo pasado que cuenta únicamente con dos formas de energéticos primarios, el carbón y la hidroelectricidad, y con dos sectores consumidores, el sector industrial y el sector doméstico, considerando una eficiencia de conversión de las centrales carboeléctricas del 30%, además se supuso que:

a) El sector industrial consume el 40% de la producción de carbón mientras el sector doméstico consume el 10%.

b) El 50% faltante de la producción total de carbón se convierte en electricidad.

c) La industria consume 35% de la energía eléctrica total (primaria y secundaria) producida.

TABLA (I) Comparación de elaboración de balances energéticos.

Producción de energía primaria (%).

	Substitución Parcial	Híbrido	Contenido energético
Carbón	67	67	87
Hidroelectricidad	33	33	13

Carbón

Hidroelectricidad

Consumo de energía por sectores (%).

	Substitución parcial	Híbrido	Contenido energético
Industrial	50	34	44
Doméstico	50	20	26
Pérdidas	0.	46	30

**III.- ANÁLISIS DEL CASO MEXICANO.**

En el Centro de Investigaciones y Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional se realizó un análisis histórico de los balances energéticos de México de 1965 a 1977, concernientes a la producción de energía primaria y al consumo por sector. A continuación se exponen los resultados de ese estudio.

**Producción de energía primaria.**

Se consultarán los datos proporcionados por la Comisión de Energéticos (CDE) y la Comisión de Tarifas de Electricidad y Gas (COTEG) que aparece en la tabla (2). Un análisis de todos los datos sobre todo concernientes a la energía eléctrica primaria, permite suponer que la Comisión de Energéticos utiliza el método híbrido con las particularidades siguientes;

A) Utiliza el método del contenido energético para la energía eléctrica importada.

B) Utiliza un coeficiente de conversión termoeléctrica bajo (28%) para las energías geotérmicas, hidroeléctricas y nu-

1



cleares nacionales. En la tabla (2) se reúnen los datos sobre --  
producción de energía primaria.

**TABLA 2**  
**PRODUCCION DE ENERGIA PRIMARIA (Kcal x 10<sup>12</sup>)**

Año	Petróleo		Gas natural		Carbón		Electricidad	
	CdE	CdTEG	CdE	CdTEG	CdE	CdTEG	CdE	CdTEG
1965	174.3	168.7	73.1	110.6	10	6.6	26.6	7.8
1970	238.2	218.4	95.1	175.7	14.8	12.5	45.5	13.1
1975	336.9	308	127.7	211.4	25.8	22.8	46.8	15
1977	416		127.8		31		60.6	

En la tabla 3 se da la producción de hidrocarburos con -  
las siguientes consideraciones.

a) En su cuenta de gas natural la CdE considera únicamente el gas natural de pozos secos.

b) La CdTEG considera todo el gas producido asociado de pozos secos, cierta parte del cual se quema en mecheros.

c) Además la CdE incluye en sus cuentas de petróleo, el equivalente de gas en petróleo.

**TABLA (3)**  
**PRODUCCION DE HIDROCARBUROS Kcal x 10<sup>12</sup>**

Año	Petróleo	Generado	Aprovechado	Pérdidas
1965	168.7	110.6	73.7	31.9
1970	218.4	175.7	114.9	60.8
1975	308.8	211.4	156.6	54.8
1977	390.4	244.4	153.4	91.0

La TABLA (4) presenta la producción relativa de las diferentes fuentes energéticas de 1965 a 1977.

TABLA (4)

PRODUCCIONES RELATIVAS DE LAS DIFERENTES FUENTES DE ENERGIA PRIMARIA.

Año	Total Kcal x 10 <sup>12</sup>	Petróleo %	Gas		Electricidad	Carbón
			Aprovechado	Pérdidas	%	%
1965	294	57.3	26.7	10.8	2.6	2.2
1970	420	52.0	27.4	14.5	3.1	3.0
1975	557	55.0	28.0	9.8	2.7	4.1
1977	683	57.1	22.4	19.3	2.4	4.5

De la tabla 4 desprendemos las siguientes conclusiones.

a) Las pérdidas de gas natural se han mantenido siempre a un nivel superior al 10% de la producción total de energía primaria.

b) La participación de los hidrocarburos, despreciando las pérdidas, en la producción de energía primaria, ha sido siempre superior al 90%.

c) La producción del carbón ha aumentado regularmente desde 1962. Tal situación se debe más a las necesidades de la industria siderúrgica que al aumento de producción de carboelectricidad.

Demanda de energía por sectores.

Para analizar la estructura de la demanda de energía or

México el estudio con método antes citado se usaron los datos proporcionados por la CdTEG.

De la tabla 5 en donde aparecen los porcentos relativos de consumo de energía por sector, observamos lo siguiente:

a) Entre 1962 y 1975, el sector industrial y productivo pierde importancia a favor del sector energético (pérdidas y autoconsumo) y del sector transporte.

b) La participación porcentual del sector agrícola disminuye de 3.34 por ciento a 2.46 por ciento, lo que confirma el sacrificio sufrido por el sector agrícola en las últimas décadas.

c) El consumo del sector transporte público pierde su importancia relativa mientras el sector transporte privado crece desmedidamente.

Esta tendencia demuestra la falta de planes de desarrollo del sector transporte público.

**TABLA 5**  
**DEMANDA DE ENERGIA PRIMARIA POR SECTOR.**

Año	Eléctrico	Petrolero	Sector Privado Industrial	Público	Sector Doméstico	Sector Agrícola	
1962	0.1	11.3	37.8	9.1	27.5	7.7	3.3
1965	0.1	12.3	37.4	10.1	26.1	7.7	3.1
1970	0.2	13.9	36.7	12.0	23.8	7.8	2.8
1975	0.2	15.6	35.7	14.1	21.5	7.7	2.4

	Kcal x 10 <sup>12</sup>						
1962	0.26	27.3	90.3	21.7	66.1	18.5	8.0
1965	0.34	35.0	107.0	29.0	74.9	22.2	9.0
1970	0.7	57.4	152.0	49.7	98.7	32.2	11.6
1975	1.2	81.2	186.0	73.5	111.3	40.2	12.7

### Flujos y balance

A partir de 1981 los flujos y balances de energía de México se representan como se ilustra a continuación, con el caso correspondiente a 1980.

El diagrama de flujo de energía (figura 1) muestra la forma total de ésta y su utilización. Los diferentes tipos de energía aparecen en forma de flujo a partir de su origen (del lado izquierdo de la gráfica) y hasta su uso final (lado derecho).

Los flujos al sistema son la producción y las importaciones mientras que los flujos de salida están constituidos por los diversos internos-incluyendo las pérdidas- y las exportaciones.

La diferencia entre flujos de entrada y de salida reflejan cambios de inventarios.

La amplitud de cada flujo es proporcional a su participación en la oferta total de 1,562,3 Kcal x 10<sup>12</sup> (100 por ciento).

Los cambios en inventarios se identifican en pequeños óvalos incorporados a los flujos. Las necesidades totales de energía (oferta total menos exportaciones y cambios de inventarios) fueron en 1980 del orden de 1,640.656 Kcal x 10<sup>12</sup>. En el diagrama

esta cifra corresponde a 66.6 por ciento total de energía primaria.

Sólo se identifican dos procesos de transformación de energía; la generación de electricidad y la refinación de petróleo. Formas secundarias de energía derivadas de combustibles fósiles aparecen implícitamente en el flujo correspondiente. El consumo de las refinerías y plantas de petroquímica básica, como de las centrales eléctricas aparecen en las áreas de transformación. Sólo se consideran combustibles comerciales pues no se cuenta con información ni con estimación confiables del consumo de leña y de carbón vegetal. A continuación se reproduce la gráfica (1) de flujo de energía de México en 1980 y en la lámina 6 en resumen del balance nacional de energía correspondiente al mismo año.

LAMINA (6).

MEXICO

BALANCE NACIONAL DE ENERGIA, 1980.	10 <sup>12</sup>
PRODUCCION NACIONAL _____	1,547.
IMPORTACIONES _____	14.
EXPORTACIONES _____	-512.
VARIACION DE INVENTARIOS _____	- 9.
ENERGIA PARA EL CONSUMO NACIONAL + PERDIDAS	<u>1,040.</u>

<u>OFERTA AL MERCADO NACIONAL</u>	12 10 Kcal	%
PETROLEO	674.734	64.9
GAS NATURAL	290.406	27.9
CARBON	24.259	2.3
ENERGIA HIDROELECTRICA	48.640	4.6
GEOTERMIA	2.617	0.3
	<u>1,040.656</u>	<u>100.00</u>
<u>CONSUMO DEL MERCADO NACIONAL,</u>	10 <sup>12</sup> Kcal	%
INDUSTRIA	197.972	19.2
TRANSPORTE	235.904	22.6
OTROS SECTORES	108.627	10.5
USOS NO ENERGETICOS	55.867	5.5
CONSUMO Y PERDIDAS PROPIAS		
DEL SECTOR ENERGETICO	260.353	25.0
PERDIDAS PROPIAS DE CONVERSION		
DE ENERGIA EN PLANTAS TERMoeLECTRICAS	123.769	11.7
PERDIDAS DE ENERGIA EN REFINERIAS	58.164	5.5
	<u>1,040.656</u>	<u>100.00</u>

## C A P Í T U L O II.

### CONSERVACION Y USO EFICIENTE DE ENERGIA.

#### 1.- Definición de conservación de energía.

Término que define una política de incorporación de las acciones a ser tomadas para asegurar un uso más eficiente en el aprovechamiento de las fuentes de energía finitas. Ejemplos de estas acciones son los ahorros de energía evitando el despilfarro y el uso racional de la energía mejorando los sistemas de transformación y uso de la energía.

Los problemas energéticos no pueden ser aislados de consideraciones económicas, sociales y políticas.

El problema en sí es el de planificar el sector energético, analizando la relación entre el consumo de energía y la actividad económica y estableciendo sus respectivos programas y políticas, a fin de reducir la demanda energética mediante un uso más eficiente de la misma y planificar la producción nacional de energía, en función del consumo nacional requerido, tomando en cuenta que los recursos naturales son finitos.

Es necesario, para lograr un modelo energético, disponer de una serie histórica de balances energéticos y la cuantificación de los recursos energéticos, para permitir construir los submodelos para lograr cubrir la demanda con los recursos energéticos, disponibles de la manera más económica posible con las res

tricciones importantes para la conservación del medio ambiente.

En síntesis, se ha considerado que el balance físico de energía entre insumos y necesidades es la primera aproximación a la planificación energética integral.

## II LAS ECONOMIAS DE LA ENERGIA.

### II-I Generalidades

La utilización económica de los recursos energéticos, principalmente los no renovables, interesa tanto a productores como a consumidores de energía.

Las economías de energía de los países latinoamericanos sería una de las principales herramientas para lograr una menor dependencia energética de los hidrocarburos, que es el recurso consumido preponderantemente en todos esos países.

El porvenir de las economías de energía en América Latina y en otras regiones del mundo, se presenta bajo un panorama incierto.

En el sector energético existen problemas tales como;

----- Los relacionados con la disponibilidad y suministro de energía.

----- La imposibilidad de sustituir a corto y mediano plazo algunas formas energéticas por otras.

----- Los relacionados con la interdependencia de los medios de toda índole que son necesarios para satisfacer la de--



manda energética, y.

----- Los relativos al tiempo considerable que tomen los procesos que van desde la prospección hasta la operación comercial de las fuentes energéticas.

La tarea que consiste en fijar equilibradamente las -- prioridades nacionales entre diferentes objetivos en conflicto -- dentro de un plan de gobierno, no puede ser cumplida sino al más alto nivel de los poderes del estado.

El objetivo de un plan energético no radica simplemente en proporcionar suficiente energía en las formas deseadas por los consumidores y a precios razonables, sino que también implica medir sus efectos en función de otros objetivos públicos tales como la protección al medio ambiente, la racional producción y uso de los recursos, la estabilidad de los costos y precios, el equilibrio de la balanza de pagos y la distribución equitativa -- de la renta.

El concepto de las economías de energía debe entenderse como la reducción de la cantidad de energía consumida sin que por ello disminuya el PIB, el nivel general de vida o el nivel -- de bienestar personal.

Debe meditarse con atención sobre esta supuesta proporcionalidad entre la energía consumida y el desarrollo, puesto -- que más allá de cierto gasto de energía por habitante no hay -- más eficiencia sino derroche.

Se ha observado que el consumo de energía tiene que-

---

ver con el crecimiento del PIB, pero esta relación puede variar - en el tiempo en función del desarrollo del país y de las políticas energéticas.

### Relación entre consumo de energía y desarrollo económico.

La información histórica de numerosos países indica que existe una relación entre la utilización de energía y el desarrollo de la economía. Esto se ilustra en la figura (2) donde se proporciona la relación entre consumo energético y producto nacional bruto de varios países en una fecha determinada.

El hecho anterior condujo a establecer el siguiente modelo matemático muy simple para expresar dicha relación entre el consumo de energía y la actividad económica.

$$E(n) = C_E Y(n). \quad (1)$$

donde:

$E(n)$  = consumo de energía primaria en el año  $n$ , expresada en unidades físicas.

$Y(n)$  = actividad económica en el año  $n$ , expresada por el producto nacional bruto (PNB) o el producto interno bruto (PIB).

$C_E$  = constante de proporcionalidad denominada coeficiente de -- energía.

La expresión anterior establece que el consumo de energías es proporcional a la actividad económica. La constante de -- proporcionalidad  $C_E$  expresa la cantidad de energía requerida para

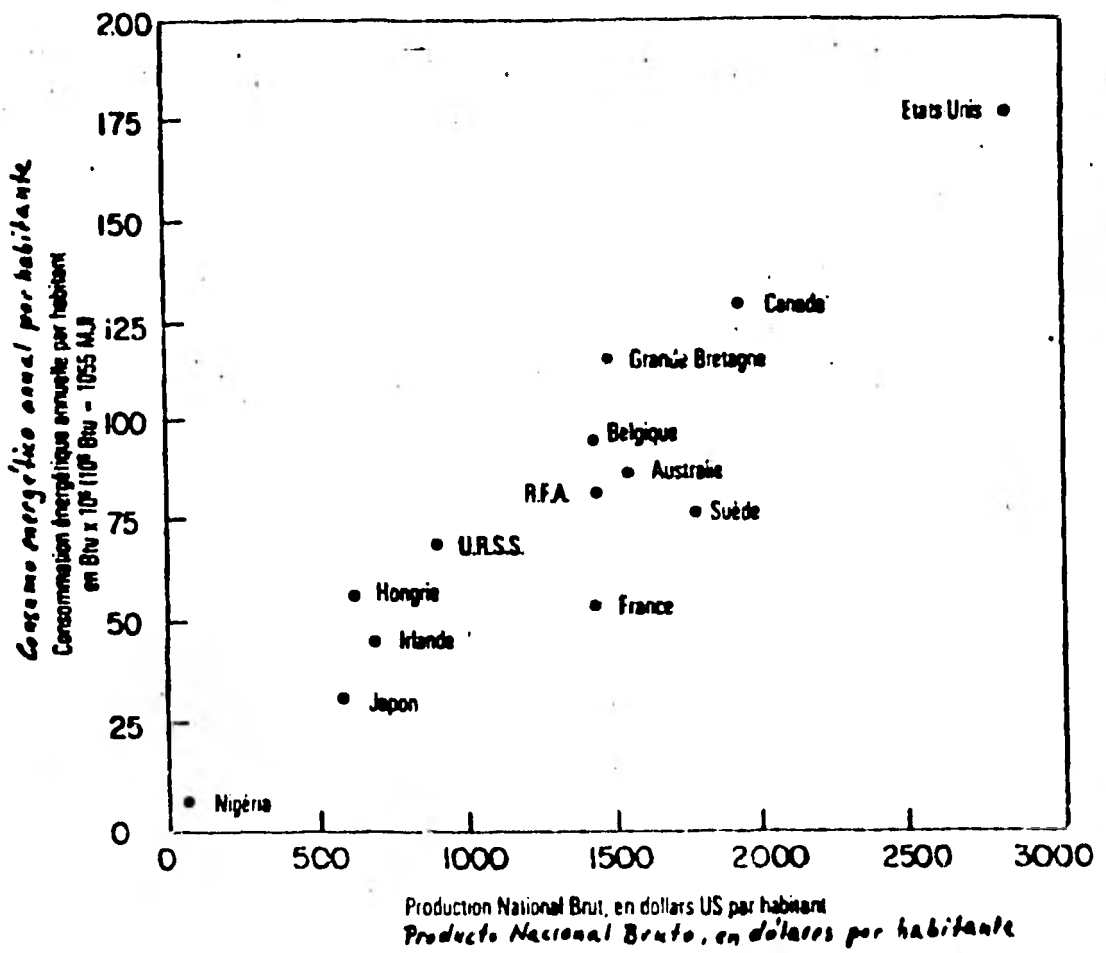


Figura (E) Relación entre el consumo energético y el PNB.  
Fuente: Scientific American, Vol. 224, N°3 (1971).

producir una unidad de producto nacional bruto (o de producto interno bruto) y es, por lo tanto una medida global de la eficacia con que una sociedad utiliza la energía.

El coeficiente de energía  $C_E$  varía notablemente de un país a otro. En la Fig. 3 tomada del Programa de Energía se muestra el consumo de energía primaria por unidad de producto interno bruto en varios países (entre los que se incluye México) para el año de 1978. En esa figura la cantidad anual de energía primaria se expresa en litros de petróleo crudo equivalente y el producto interno bruto, que se define como la suma del valor de los bienes y servicios que genera una economía en un año determinado está expresado en dólares.

Como lo señala el Programa de Energía: "México, al -- igual que otros países, hace un uso ineficiente de sus energéticos. Ello se refleja en la elevada intensidad en el consumo de energía por unidad de producto interno bruto". Conviene señalar que Brasil, que tiene un desarrollo económico comparable al de México, consume la mitad de energía por unidad de PIB que este último.

Para poder encontrar las causas de estas grandes diferencias entre países es necesario analizar con más detalla la relación entre el consumo de la energía y la actividad económica.

Durante la época anterior a la llamada crisis petrolera de 1973, en la que los precios de la energía se mantuvieron prac-

### Consumo de energía primaria por unidad de producto interno bruto en países seleccionados, 1978

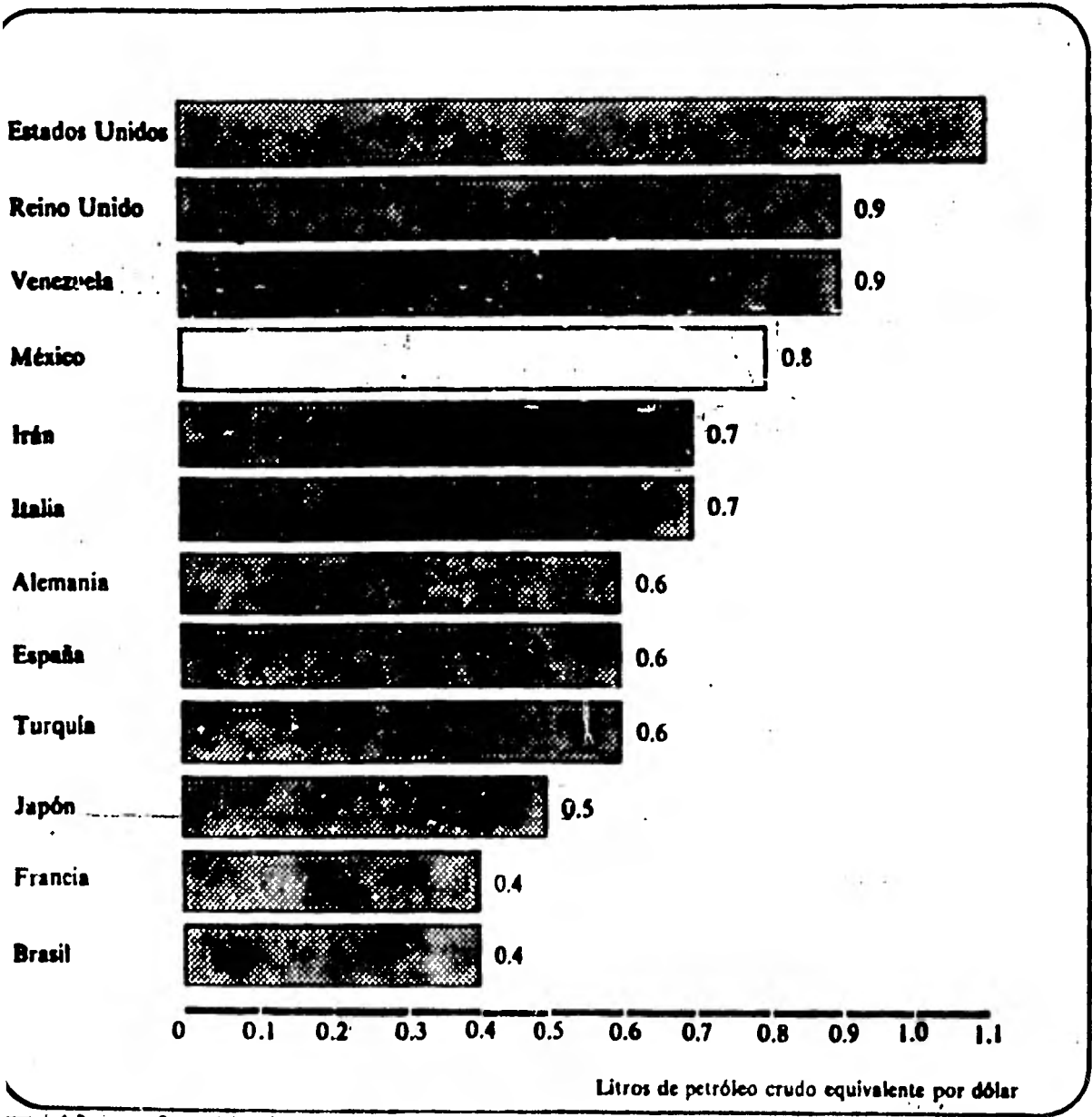


Fig. 3

Pronosticos del consumo de energía futura en México en-  
1990 con la expresión siguiente tenemos:

$$\frac{E(n_1)}{E(\text{no})} = \frac{Y(n_1)}{Y(\text{no})}$$

Donde para 1990.

Tasa de crecimiento anual de PIB: 8%

$$\frac{Y_{1990}}{Y_{1979}} = (1.08)^n = 2.33$$

con  $n = 1.1$

Consumo de energía en 1979 = 1.8 Millones de Barriles --  
diarios de petróleo crudo --  
equivalente.

$$E_{1990} = 1.8 \times 10^6 \frac{(2.33)^{1.1}}{1}$$

$E_{1990} = 4.56$  Millones de barriles diarios de petróleo crudo equi-  
valente.

Para  $x = 1.06$

$$E_{1990} = 1.8 \times 10^6 \frac{(2.33)^{1.06}}{1} = 4.412 \text{ Millones de barriles}$$

diarios de petróleo crudo equivalen  
te.

Para  $x = 1.3$

$$E_{1990} = 1.8 \times 10^6 \frac{(2.33)^{1.3}}{1} = 5.405 \text{ Millones de barriles, diarios-}$$

de petróleo crudo equivalente.

Para  $x = 1.7$

$$E_{1990} = 1.8 \times 10^6 \frac{(2.33)^{1.7}}{1} = 7.58189 \text{ Millones de barriles diarios}$$

de petróleo crudo equivalente.

ticamente constantes durante un largo periodo; se utilizó con éxito la siguiente expresión:

$$\frac{E(n_1)}{E(n_0)} = \left[ \frac{Y(n_1)}{Y(n_0)} \right]^\alpha \quad (2)$$

donde:

$E(n_1)$  = demanda de energía primaria futura en el año  $n_1$ .

$E(n_0)$  = demanda de energía primaria en el año de referencia  $n_0$ .

$Y(n_1)$  = PNB o PIB estimado para el año  $n_1$ .

$Y(n_0)$  = PNB o PIB en el año de referencia  $n_0$ .

El exponente se llama elasticidad energía-PNB (o PIB)

La ecuación 2 indica que la variación del consumo de energía es proporcional a una potencia de la variación del producto nacional bruto (o del producto interno bruto). Evidentemente mientras menor sea el exponente a mayor es la eficiencia con que se utiliza la energía.

Los coeficientes de elasticidad energía-producto bruto se pueden determinar con relativa facilidad a partir de la información estadística disponible. En general son menores en los países industrialmente desarrollados que en los países en vías de desarrollo y tienden a disminuir a medida que los países se industrializan.

Se considera que un valor promedio del coeficiente de elasticidad energía-producto bruto es del orden de la unidad, en-

cuyo caso la expresión 2 se reduce a la 1. En efecto, si  $\alpha = 1$ :

$$E(n_1) = \left[ \frac{E(n_0)}{Y(n_0)} \right] Y(n_1)$$

En la figura 4, tomada del Programa de Energía se presenta la evolución del coeficiente de elasticidad energía producto interno bruto en México, de 1965 a 1979. De acuerdo con esta información, nos encontramos con el hecho alarmante de que en México no solo no ha tendido a disminuir el coeficiente de elasticidad energía-PIB a medida que avanza la industrialización del país, sino que ha aumentado aceleradamente, lo que indica que cada vez se usa más ineficientemente la energía, alcanzando dicho coeficiente en el periodo 1975-79 un valor inusitadamente alto de 1.7, el doble del correspondiente en ese periodo a los países industrializados.

Para encontrar una explicación a este hecho gravísimo, es necesario analizar el efecto de los precios en el consumo de energía.

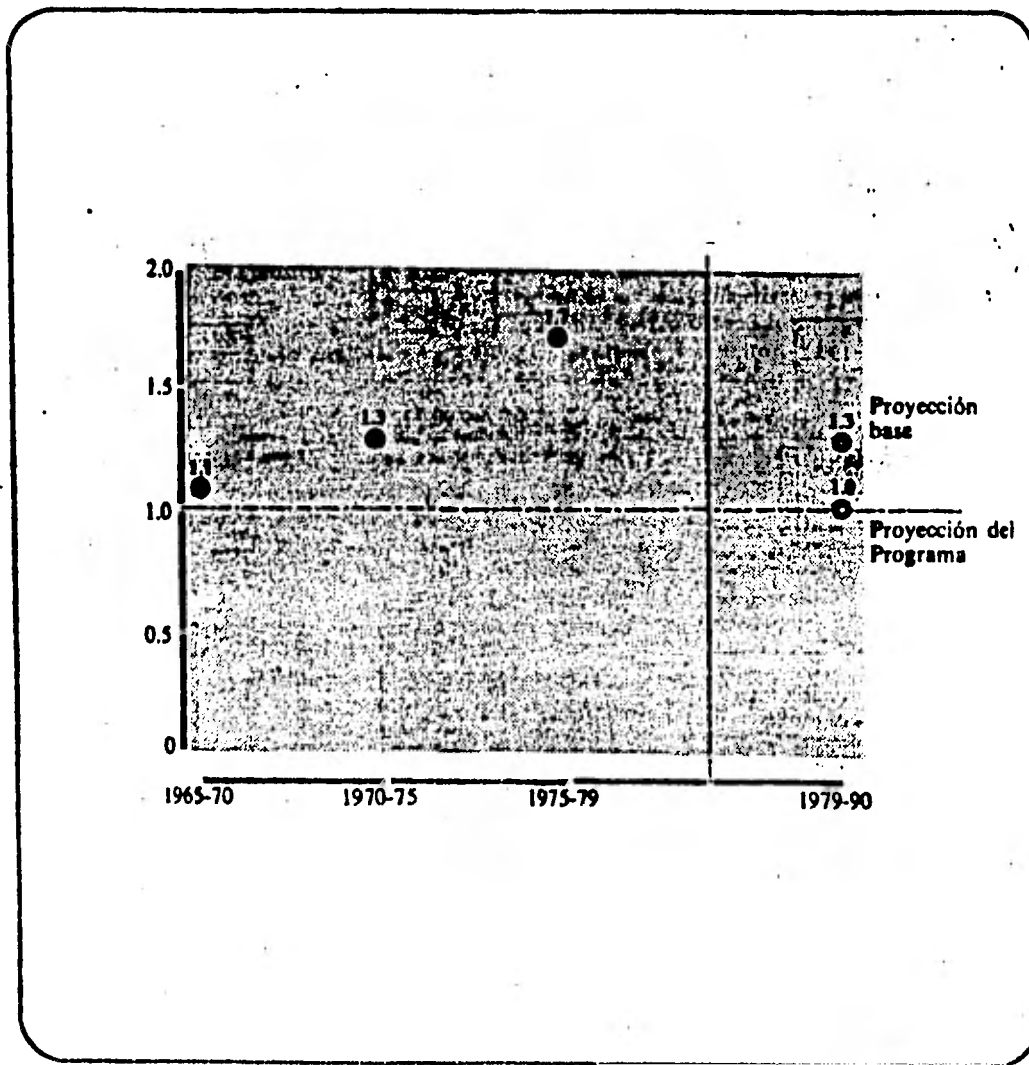
3

### Relación entre consumo y precio de la energía.

Es un hecho bien conocido que, históricamente, la energía ha sido siempre más barata en Estados Unidos que en Europa o en el Japón. Esto ha conducido a que la tecnología desarrollada en Estados Unidos utilice más energía (y menos mano de obra) que la tecnología equivalente de Europa o del Japón, lo que es una manifestación concluyente del efecto del precio de la energía sobre



**Relación entre las tasas de crecimiento de la demanda interna de energía primaria y del producto interno bruto, 1965-79 y proyecciones a 1990**



Boletín de Patrimonio y Fomento Industrial

Fig. 4

consumo. Este efecto se vuelve mucho más importante al terminar en 1973 la época en que el precio de la energía se mantuvo prácticamente constante durante un largo periodo e iniciarse otra época en la que su precio ha crecido rápidamente en casi todos los países.

Para tomar en cuenta el efecto del precio de la energía en el consumo energético, se ha modificado la expresión 2, en la forma que se indica a continuación:

$$\frac{E(n_1)}{E(n_0)} = \frac{Y(n_1)^Y}{Y(n_0)^Y} \times \left[ \frac{P(n_1)}{P(n_0)} \right]^{\beta} \quad (3)$$

donde  $E(n_1)$ ,  $E(n_0)$ ,  $Y(n_1)$  y  $Y(n_0)$  tienen los significados antes definidos y:

$P(n_1)$  = precio de la energía primaria estimado para el año  $n_1$ .

$P(n_0)$  = precio de la energía en el año de referencia  $n_0$ .

El exponente  $Y$  se llama elasticidad energía-ingreso y es un número positivo, lo que indica que el consumo de energía -- crece (en mayor o menor grado de acuerdo con la magnitud de  $Y$ ) al crecer el producto bruto.

El exponente  $\beta$  se llama elasticidad energía-precio y es un número negativo, lo que indica que el consumo de energía -- disminuye al aumentar su precio. De acuerdo con una publicación de la Conferencia Mundial de Energía un valor promedio de  $\beta$  es - 0.3, aunque se citan en otras fuentes, para países desarrollados, elas-

Pronóstico del comunismo de energía futura en México en 1940

Año de referencia 1979

Tasa de crecimiento anual de PIB: 8%

$$\frac{Y_{1990}}{Y_{1979}} = (1.08)^{11} = 2.33$$

Tasa de crecimiento anual de los precios: 15%

$$\frac{P_{1990}}{P_{1990}} = (1.15)^{11} = 4.65$$

$$= 1.1 \quad = -0.3$$

Comunismo de energía en 1979 = 1.8 millones de barriles diarios de petróleo crudo equivalente.

$$E_{1990} = 1.8 \times 10^6 \frac{(2.33)^{1.1}}{1} \times \frac{(4.65)^{-0.3}}{1}$$

$$= 1.8 \times 10^6 \frac{(2.33)^{1.1}}{4.65^{0.3}}$$

= 1.8 x 10<sup>6</sup> x 1.6 = 2.878 millones de barriles diarios de petróleo crudo equivalente.

$$\text{Para } = 1.06, \quad = -.03$$

$$E_{1990} = 1.8 \times 10^6 \frac{(2.33)^{1.06}}{1} \times (4.65)^{-0.3}$$

= 2.7445 Millones de barriles diarios de petróleo crudo equivalente.

$$= 1.3, \quad = 0.3$$

$$E_{1990} = 1.6 \times 10^6 \frac{(2.33)^{1.30}}{1} \times \frac{(4.65)^{-0.3}}{1}$$

= 3.4087 Millones de barriles diarios de petróleo crudo equivalente.

$$= 1.7; \quad = -0.3$$

$$E_{1990} = 1.8 \times 10^6 \frac{(2.33)^{1.7}}{1} \times \frac{(4.65)^{-0.3}}{1} = 4.78 \text{ Millones de barriles diarios de petróleo crudo equivalente.}$$

tiedades energía-precio a corto plazo de -0.5 y a largo plazo de -0.8.

El coeficiente de elasticidad energía-ingreso es igual al coeficiente de elasticidad energía-producto bruto  $\alpha$ , antes definido, si los precios de la energía permanecen constantes; frecuentemente, a falta de mejor información estadística, se ha usado como una aproximación de el valor conocido de  $\alpha$ .

Volviendo al caso debemos concluir, de acuerdo con los datos de la figura 4, que así como la elevación del precio de la energía ha propiciado en muchos países el uso más eficiente de la misma, en México la persistencia de los bajos precios de la energía ha conducido al aumento de la ineficiencia en su uso y al desperdicio.

Todo lo anterior muestra que no puede existir una política eficaz de conservación y uso eficiente de la energía si no se implementa una política adecuada de precios de la energía.

Proyección  
pronóstico del consumo futuro de energía en México.

Metas y políticas del Programa de Energía para racionalizar el uso de la energía.

Como lo señala el Programa de Energía, "el crecimiento de la demanda interna de energía de México durante 1975-79 fue uno de los más altos del mundo en comparación con el crecimiento correspondiente del producto interno bruto. Aunque el transporte fue el sector de destino que más contribuyó, el alto crecimiento

de la demanda constituyó un fenómeno generalizado".

Para modificar esta tendencia, el Programa contempla medidas de acción directa mediante acciones concertadas y disposiciones reglamentarias y medidas de acción indirecta mediante una política de precios que actúe a través de los mecanismos del mercado.

Estas políticas de racionalización y conservación permitirían, según el plan, que con un crecimiento anual del producto interno bruto de 8% el consumo de energía primaria pasase de un total equivalente a 1.8 millones de barriles de petróleo crudo -- por día en 1979 a 4.4 millones en 1990, o sea una tasa anual de crecimiento del consumo de energía del 8.5%, en lugar de llegar en ese año a una cantidad de energía primaria de 5.4 millones de barriles, que corresponde a una tasa anual de crecimiento de 10.5%. Esta meta implica bajar la relación entre las tasas de crecimiento de la demanda interna de energía y del producto interno bruto, del 1.7 actual a prácticamente 1.0.

De acuerdo con lo propuesto en el Programa de Energía, "los ahorros más significativos por su magnitud se observan en los consumos del propio sector de energía, en el transporte y en la industria".

En cuanto a la política de precios de los energéticos se señala lo siguiente".

"El Programa establece criterios para modificar los ---

precios de los distintos energéticos. Por lo que a los hidrocarburos se refiere, se propone un esquema que contempla un horizonte de plazo y que toma en consideración su repercusión tanto en la economía en su conjunto como sobre el sector energético mismo. Los ajustes correspondientes han sido diseñados para evitar impactos inflacionarios desproporcionados. El objetivo que se pretende es llegar al 70 por ciento de los precios externos de referencia de los combustibles industriales y del diesel y a eliminar prácticamente la brecha en el resto de los productos petrolíferos en el lapso de un decenio".

El investigador de la Facultad de Economía Política de la Universidad de Goteborg, Suecia, Dr. Thomas Sterner, analiza en un estudio reciente<sup>4</sup> las implicaciones de esa política de precios planteada en el Programa de Energía. Citamos a continuación un párrafo de su ponencia "Algunos problemas en el desarrollo de energéticos en México":

"Los precios en México de los energéticos, corresponden a 10% de los precios en los E.U., por gas, 13% por combustibles pesados, y 37% de los precios que ya son muy bajos en los E.U., en comparación con los demás países, por gasolina. Según el Programa de Energía los precios de la energía se van a aumentar hasta 70% de los precios internacionales según el tipo de energéticos, durante esta década. Esto significaría aumentos relativos, reales, de más de 10% anual. Además se supone que los precios internacio-

nales aumentarán de 5 a 7% anualmente. En total, entonces, los -- precios mexicanos tendrían que aumentarse de 15-20% por año en -- términos reales; es decir, 15-20% más que la inflación".

Evidentemente esta política de precios de la energía -- es sumamente impopular en el país, especialmente en lo que respec a la gasolina, lo que explica que hasta la fecha no se haya apli-- cado más que parcialmente.

El Dr. Sterner analiza en su ponencia antes mencionada-- los efectos económicos del aumento del precio de la energía. Cita mos a continuación dos párrafos que resumen su posición tomados -- de la sección titulada: "¿Un incremento en el precio de la ener-- gía y de los hidrocarburos?".

"Los argumentos más obvios en favor de tal alza ya se-- han mencionado: evitar el despilfarro de un recurso tanpreciado-- y participar en el desarrollo tecnológico adecuado a la escasez -- relativa de energía en el mundo: es decir contando con una tecno-- logía moderna. Necesidad que será más evidente cuando México ten-- ga que adaptar los precios de sus energéticos a los precios inter-- nacionales. Esto sucederá, a más tardar, dentro de unos quince -- años cuando, según el Programa de Energía, México empiece a impor-- tar petróleo otra vez. Sería muy grave para el país si las inver-- siones hechas durante esta década resultan obsoletas dentro de un tiempo bastante corto, a causa de un alza de los precios".

"Uno de los argumentos que se esgrimen a menudo, en coi

tra del alza de los precios energéticos, es que esta medida sería inflacionaria. Dada la tasa de inflación -ya muy alta- eso obviamente sería muy serio. Pero en realidad no parece cierto que una alza de precios energéticos en México tenga que ser inflacionaria. Sin entrar en una discusión sobre la teoría de la inflación, parece claro que un aumento en el precio por impuestos sobre un producto fabricado en el país no es el mismo que cuando aumenta el precio de un producto importado. Puesto que la industria petrolera mexicana es propiedad estatal, los aumentos en las ganancias - por alzas de precios van al Estado. Eso quiere decir que éstas -- pueden emplearse para reducir la deuda pública (externa o interna), o bien para reducir los impuestos sobre otros bienes de consumo o de producción. Entonces, aunque el alza del precio del petróleo parezca inflacionaria (ya que representa un aumento por lo menos en <sup>el</sup> precio) implica otros efectos contrarios que neutralizarían y equilibrarían el primer efecto".

#### Efecto de los bajos precios de los hidrocarburos en la oferta de energía primaria.

Se discutirá ahora el efecto contraproducente de los bajos precios internos de los hidrocarburos en México en la estructura de la oferta de energía primaria.

En la tabla 1 se muestra como ha evolucionado la oferta de energía primaria en México de 1977 a 1980. Puede verse que la enorme dependencia de los hidrocarburos como fuente de energía --



ido agravando en los últimos años (al contrario -  
vido en la mayor parte de los países del mundo).  
se tiene otro de los efectos indeseables de los ba  
precios internos de los hidrocarburos. Ninguna fuente alterna  
tiva de energía primaria resulta competitiva con esos precios y -  
la consecuencia es que el país depende cada vez más, para el su--  
ministro de energía, de esa fuente no renovable. Sin embargo no -  
parece haber conciencia de la gravedad del problema que esta si--  
tuación plantea, quizás por la opinión generalizada de que tene--  
mos petróleo para muchos años y de que, en consecuencia, podemos  
exportar y derrochar sin medida. A este estado de opinión no son  
ajenas las declaraciones optimistas de algunos altos funcionarios.  
Por ejemplo, en el informe que rindió el Director General de Pe--  
tróleos Mexicanos el pasado 18 de marzo de 1981, señaló que la re  
lación reservas probadas a producción paso a 60 años. Esto quiere  
decir que si se divide el valor de las reservas probadas anuncia--  
do en esa ocasión, que fue de 67830 millones de barriles de pe--  
tróleo crudo equivalente, entre la producción total de hidrocarbu  
ros prevista para 1981, que se estimó en 1130 millones de barri--  
les, se obtiene un cociente de 60; o sea que si la producción de  
hidrocarburos se mantuviese sin aumento al nivel de la de 1981, -  
las reservas probadas durarían teóricamente 60 años.

En la parte final de su informe, el ingeniero Díaz Se--  
rrano afirmó textualmente:

"Tenemos hidrocarburos para los próximos sesenta años,-

primaria se ha ido agravando en los últimos años (al contrario - de lo que ha ocurrido en la mayor parte de los países del mundo).

Aquí se tiene otro de los efectos indeseables de los bajos precios internos de los hidrocarburos. Ninguna fuente alternativa de energía primaria resulta competitiva con esos precios y - la consecuencia es que el país depende cada vez más, para el su--ministro de energía, de esa fuente no renovable. Sin embargo no - parece haber conciencia de la gravedad del problema que esta si--tuación plantea, quizás por la opinión generalizada de que tene--mos petróleo para muchos años y de que, en consecuencia, podemos exportar y derrochar sin medida. A este estado de opinión no son ajenas las declaraciones optimistas de algunos altos funcionarios. Por ejemplo, en el informe que rindió el Director General de Pe--tróleos Mexicanos el pasado 18 de marzo de 1981, señaló que la relación reservas probadas a producción paso a 60 años. Esto quiere decir que si se divide el valor de las reservas probadas anuncia--do en esa ocasión, que fue de 67830 millones de barriles de pe--tróleo crudo equivalente, entre la producción total de hidrocarbu--ros prevista para 1981, que se estimó en 1130 millones de barri--les, se obtiene un cociente de 60; o sea que si la producción de hidrocarburos se mantuviese sin aumento al nivel de la de 1981, - las reservas probadas durarían teóricamente 60 años.

En la parte final de su informe, el ingeniero Díaz Se--rrano afirmó textualmente:

"Tenemos hidrocarburos para los próximos sesenta años,-

EVOLUCION DE LA COMPOSICION DE LA OFERTA DE ENERGIA  
PRIMARIA EN MEXICO

ENERGIA PRIMARIA	1977	1978	1979	1980
Petroleo	65.6	64.5	63	64
Gas natural	19.9	23	25	25
Carbón	5.1	5.2	5	4.7
Energía hidroeléctrica	9.1	7	7	6
Geotermia	0.3	0.3	0.4	0.5
<b>Energía primaria total:</b>				
$10^{12}$ Kcal	642.29	704.02	792.77	865.10
Aumento respecto al año anterior		9.6%	12.6%	9.12%

Fuente: Comisión de Energéticos

de acuerdo con las reservas probadas y hasta para cien, en función de las probables".

La afirmación anterior, expresada en esos términos absolutos sin precisar que para que se verifique se requiere que la producción nacional de hidrocarburos se mantenga en el futuro sin aumento, al nivel de la de 1981, puede propiciar un optimismo injustificado, que conduzca a desentenderse de los problemas de conservación y uso eficiente de la energía y de sustitución de los hidrocarburos por otros energéticos.

La realidad es que el consumo de hidrocarburos creció en el pasado en México a una tasa anual de más del 6% que este crecimiento se ha acelerado en los últimos años, como puede verse en la tabla 1, y que, en ausencia de una acción resulta para promoverse el uso eficiente de la energía y la sustitución de los hidrocarburos por otros energéticos, este crecimiento en el consumo de los hidrocarburos en México continuará en el futuro.

Bajo esas condiciones, que son las que prevalecen actualmente, puede calcularse la duración de las reservas probadas de hidrocarburos de México partiendo de la siguientes bases:

a) Las reservas de hidrocarburos, expresadas en millones de barriles de petróleo crudo equivalente, son de acuerdo con el pasado informe presidencial del 10. de septiembre de 1981, las siguientes:

Reservas probadas	72000.
Reservas probables	58650
Reservas potenciales	250000

Las reservas potenciales incluyen las probadas y probables más la producción acumulada hasta la fecha.

b) El consumo nacional de hidrocarburos, que en 1980 -- fué, incluyendo las pérdidas, de 645.7 millones de barriles de petróleo crudo equivalente, crecerá a una tasa anual del 11%, de acuerdo con la proyección base del Programa de Energía, que considera las tendencias autónomas de la demanda de energía, que prevalecerán si no se llevan a cabo las políticas propuestas para racionalizar el consumo.

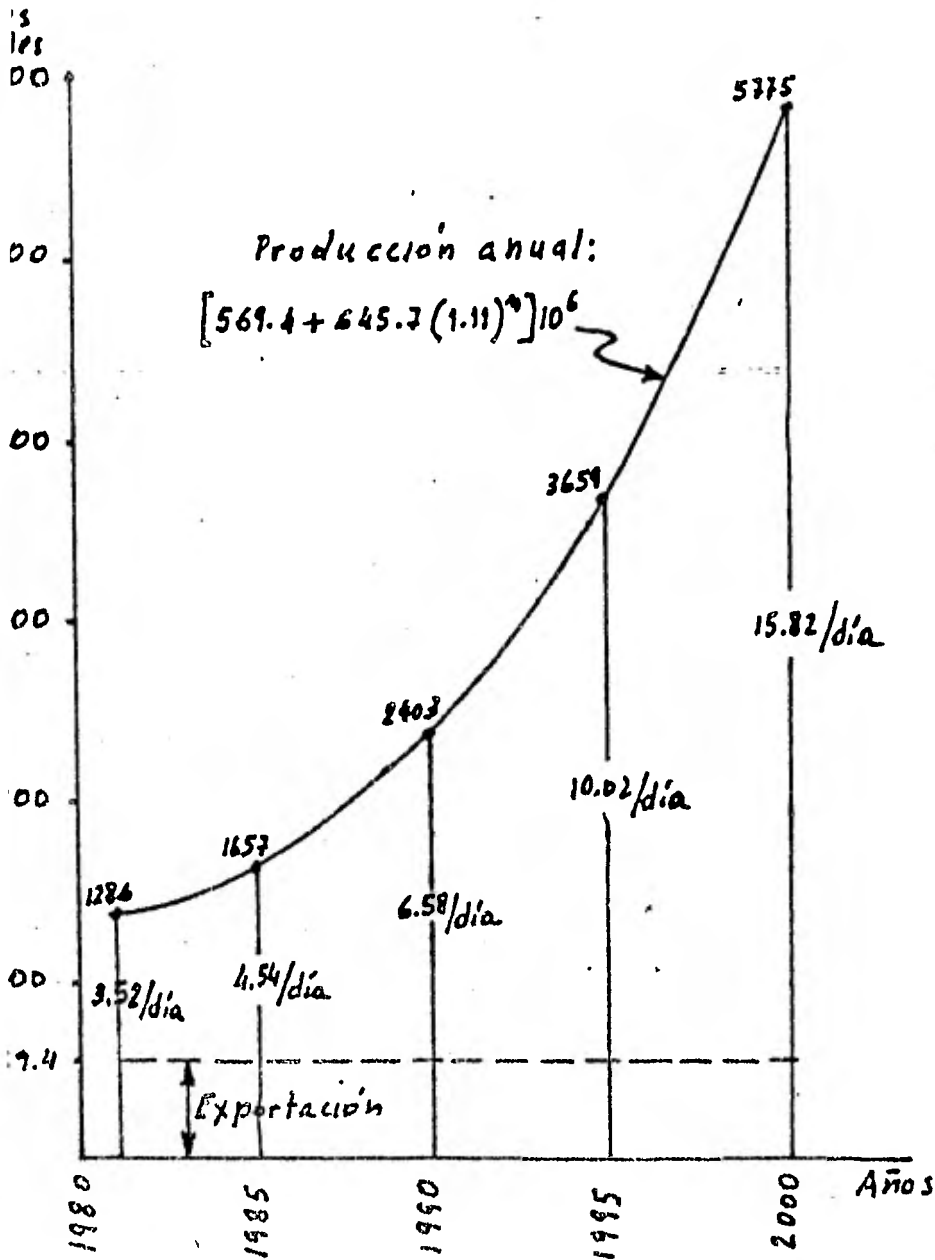
c) La exportación de hidrocarburos se mantendrá en el futuro a un nivel de 1.5 millones de barriles diarios de petróleo crudo y 300 millones de pies cúbicos diarios de gas natural, que es el límite que fija el Programa de energía, o sea un total -- anual de 569.4 millones de barriles de petróleo crudo equivalente

Como puede verse en la nota de cálculo y en la gráfica de la figura 5, las reservas probadas se agotarían en el año 2003. Por lo tanto, bajo las condiciones antes definidas, tendríamos -- hidrocarburos para 22 años y no para 60.

El cálculo anterior no toma en cuenta que la explotación petrolera requiere que la relación entre reservas probadas y producción anual no descienda por debajo de un nivel crítico, que

Fig. 5

DURACION TEORICA DE LAS RESERVAS PROBADAS DE HIDROCARBUROS EN MEXICO



Producción anual:  
 $[569.4 + 645.7 (1.11)^n] 10^6$

Reservas probadas al 1º-IX-81:  
 $72000 \times 10^6$  b.p.c.e.

Consumo acumulado al año 2000:  
 $71378 \times 10^6$  b.p.c.e.

NOTA DE CALCULO

Exportación anual a partir de 1981:  $569.4 \times 10^6$  b.p.c.e.  
 Consumo interno más pérdidas en 1980:  $645.7 \times 10^6$  b.p.c.e.  
 $72000 \times 10^6 = 569.4 \times 10^6 \times n + 645.7 \times 10^6 \left[ \frac{(1.11)^n - 1}{\ln 1.11} \right]$

La ecuación anterior se verifica para  $n=22.5$

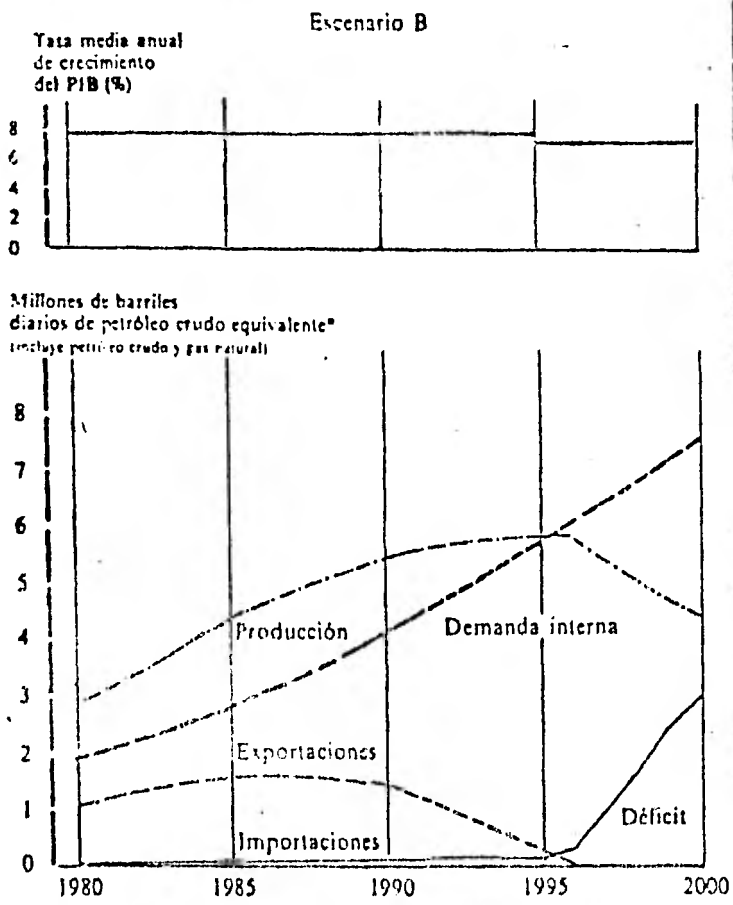


Fig. 6  
Crecimiento económico y producción de hidrocarburos  
Proyección con reservas totales de 60 mil millones de barriles

Fuente: Programa de Energía

el Programa de Energía, se alcanza cuando las reservas representan una vida de 15 años en relación a la extracción anual. En consecuencia, la producción de hidrocarburos empezará a declinar bastante antes del agotamiento de las reservas. La figura 6, tomada del Programa de Energía, que corresponde al escenario propuesto en ese Programa de un crecimiento económico sostenido de una tasa anual del 8%, muestra que el país dejaría de ser autosuficiente en el abastecimiento de hidrocarburos hacia 1996, o sea dentro de 15 años y a partir de esa fecha no solo las exportaciones de hidrocarburos se habrían reducido a cero, sino que sería necesario importar petróleo, en caso de que el proceso de sustitución de los hidrocarburos por otros energéticos no hubiese avanzado lo suficiente.

Podrá alegarse que es posible que las reservas probadas de hidrocarburos de México aumenten, en la medida en que se confirmen las reservas probables y potenciales; sin embargo no parece prudente arriesgar el futuro de México basados en la esperanza de que estos supuestos, que tienen una probabilidad matemática de verificarse bastante inferior a la unidad, se cumplan.

Medidas de acción directa para la racionalización de la producción y el uso de la energía.

Además de una política adecuada de precios de la energía, aplicada oportunamente, las medidas de acción directa consideradas en el Programa de Energía pueden tener un efecto importan



te en la racionalización de la producción y el uso de la energía teniendo en cuenta que el sector energético está constituido completamente por empresas del sector público.

En este sector de la producción de energía, uno de los desperdicios de energía menos justificables es la quema en la atmósfera de gas natural asociado al petróleo, causada, como lo señala el Programa de Energía, por falta de sistemas de recolección en los campos, por insuficiencia en la capacidad de procesamiento porque no ha existido la capacidad necesaria de transporte en los ductos nacionales que van a los centros de consumo.

De acuerdo con el informe del Director General de Petróleos Mexicanos, del pasado 18 de marzo, actualmente se queman 5 millones de pies cúbicos al día en los pozos marítimos de la zona de Campeche, lo que equivale a 110 000 barriles diarios de petróleo crudo equivalente y que al precio actual de exportación del gas natural, que es de 4.8246 dólares por millar de pies cúbicos, significa quemar casi dos millones y medio de dólares diarios, mientras que, por otra parte, los suministros de gas natural a la industria eléctrica son todavía insuficientes. El Programa de Energía establece tanto una reducción paulatina de los coeficientes técnicos de liberación a la atmósfera del gas como la eliminación total de la quema por las tres causas antes mencionadas, lo que permitirá restringir dicha quema a un máximo de 3% respecto a la producción bruta.

Otro aspecto importante de la racionalización de la producción de energía es el perfeccionamiento de las técnicas de extracción del petróleo y del gas natural.

Los altos precios que alcanza actualmente el petróleo en el mercado internacional y los pronósticos en el sentido de que la producción mundial de petróleo empezará a declinar en la última década del presente siglo, han avivado el interés en desarrollar procedimientos de extracción que permitan recuperar una proporción mayor del petróleo y el gas contenidos en los yacimientos. Los precios actuales del petróleo hacen que sea conveniente utilizar procedimientos de recuperación más eficientes pero más costosos, que con los precios anteriores a 1973 no resultaban rentables.

Mediante la recuperación primaria, o sea mediante la perforación convencional de pozos petroleros, se recupera actualmente del orden de un 25% del petróleo contenido en un yacimiento.

Mediante la recuperación secundaria, que consiste en la inyección de cantidades importantes de agua en aquellos yacimientos que presentan características adecuadas, la recuperación puede aumentarse alrededor del 50%.

La recuperación terciaria o perfeccionada que podría permitir la recuperación de cantidades adicionales de hidrocarburos, es el nombre genérico que cubre una variedad de técnicas

para aumentar el flujo de petróleo de su localización natural en rocas permeables a los pozos de producción. Comprende

tres métodos básicos: método térmico, inyección de solventes, e inyección de agua con sustancias químicas que favorezcan la miscibilidad del petróleo.

En un país con recursos petroleros considerables, como es el caso de México, el perfeccionamiento de las técnicas de recuperación del petróleo es de la mayor importancia, ya que podría aumentar substancialmente la cantidad de petróleo que puede extraerse de los yacimientos, lo que equivale a un aumento de los recursos petroleros.

Por lo que hace al uso de la energía, las medidas de acción directa mediante acciones concertadas y disposiciones reglamentarias, pueden ser especialmente eficaces en el sector del transporte que, de acuerdo con el balance energético de 1979, publicado por la Comisión de Energéticos, representó el 30% del consumo de energía primaria en México en ese año.

En las conclusiones y recomendaciones de las sesiones técnicas sobre energéticos del pasado IX Congreso Nacional Bienal del Colegio de Ingenieros Mecánicos Electricistas<sup>5</sup>, celebrado en noviembre de 1980, se asienta lo siguiente:

"1. En el aspecto de la conservación y uso eficiente de la energía, que constituye uno de los aspectos principales del Programa de Energía, se recomienda que se haga un énfasis especial en el sector del transporte, por ser aquel en el que se pueden obtener los resultados más eficaces a corto y mediano plazo:

se recomienda en especial:

- 1.1 Desalentar el uso del automóvil individual en los transportes urbanos, desarrollándose un sistema de transporte público eficiente y adecuado.
- 1.2 Fomentar el transporte de carga por ferrocarril, que resulta mucho más eficiente desde el punto de vista del consumo de energía que el transporte por carretera, para lo cual es necesario rehabilitar y desarrollar la red ferroviaria.
- 1.3 Establecer normas de eficiencia energética para los automóviles mediante la legislación correspondiente".

## II.2. LAS ECONOMICAS DE ENERGIA EN LA INDUSTRIA.

Los países de la OC/DE (Organización de Cooperación y - Desarrollo Económico), estiman que una mejor gestión y la eliminación de derroches energéticos reduciría el consumo del combustible en la industria en un 10 por ciento y el consumo de la energía eléctrica en un 5% por ciento sin afectar con ello la producción final.

Para un mejor rendimiento se debe hacer mejorar las técnicas de producción y aumentar la recuperación de calor perdido.- Esto es particularmente válido para aquellas industrias que son - grandes consumidoras de energía, como la papelera, la siderúrgica, la del aluminio, la de los plásticos y la del cemento. El aprovechamiento de desperdicios de ciertas materias primas podría tener interesantes repercusiones en las cantidades de energía utilizadas, por ejemplo la chatarra, que en un segundo proceso requiere de menor cantidad de energía que la requerida por el proceso a -- partir del mineral de hierro, así para otros minerales.

## II-3 LAS ECONOMIAS DE ENERGIA EN EL TRANSPORTE.

La energía para el sector transporte en América Latina- proviene casi exclusivamente de los derivados del petróleo y en - pequeña proporción de la energía eléctrica.

A plazo medio, en los motores de combustión interna se- podría ahorrar una cierta cantidad de energía, sino en tanto de -

eficiencia de los motores, sí en cuanto a simples modificaciones de carrocerías, reducción de peso, aumento en uso de los motores diesel y de los neumáticos radiales, mejora de la relación peso - potencia y de las características aerodinámicas de los automotores.

Parece necesario que los organismos estatales financien trabajos de investigación y desarrollo con relación a los sistemas de transportes urbanos, a fin de establecerlos a largo plazo, para que compitan en flexibilidad y comodidad con el automóvil -- particular.

Para el transporte entre ciudades, el ferrocarril resulta más rentable que otra forma de transporte en cuanto al consumo de energía.

#### III.4 LAS ECONOMIAS DE ENERGIA EN EL SECTOR RESIDENCIAL COMERCIAL Y RESIDENCIAL.

Una de las observaciones más importantes en la cocción de alimentos es la ineficiencia en el aprovechamiento y la incongruencia de utilizar energía eléctrica para generar calor, cuando esta energía procede de plantas termoeléctricas con un rendimiento no mayor del 40 por ciento. Así también podemos mencionar el desperdicio que se hace en los calentadores domésticos que calientan el agua hasta más de 90 grados centígrados cuando el uso de ésta es alrededor de los 40-45 grados centígrados.

Dos campos muy importantes para el ahorro de energía -- en este sector son el aislamiento térmico de edificios y el con--

trol de temperatura. En cuanto al aislamiento térmico no existen normas que controlen un rango determinado de temperaturas, y es por eso que se acondicionan lugares que alcanzan temperaturas no de confort sino de incomodidad. Hay que tomar en cuenta que estos ahorros de energía requieren grandes inversiones para el aislamiento térmico y que son amortizados en cierto tiempo, y que solo las autoridades competentes pueden ayudar en gran parte en este aspecto, ayudando con la inversión inicial y estimulación fiscal, para poder lograr el fin determinado que es el ahorro de energía.

La instalación de sistemas de control de temperatura, fundamentalmente en los grandes edificios, supondría un ahorro de energía considerable al evitar excesos de calor o frío en partes no deseadas. Debe darse especial importancia a la iluminación natural y a sistemas de iluminación artificial altamente regulables. Considerando las cantidades convenientes de iluminación bajo un estudio previo de acuerdo al lugar y tipo de funcionamiento, se puede lograr un gran ahorro de energía y con esto un mejor bienestar para las sociedades en cuestión.

En defensa de los usuarios de aparatos electrodomésticos deben establecerse normas en los países, que exijan que los mismos presenten una placa que indique el consumo de energía y quizá establecer normas mínimas de consumo.

II-5 LAS ECONOMIAS DE ENERGIA EN EL SECTOR PRODUCTOR Y TRANSFORMADOR DE ENERGETICOS.

El sector productor y transformador de energéticos debe tratar de mejorar su eficiencia de conversión y recuperar la energía desechada en forma de calor, a efecto de evitar la contaminación térmica al medio ambiente y protegerlo así y mejorar el rendimiento de sus instalaciones. Así se tiene que en la industria eléctrica 23% partes de la energía utilizada en la producción de electricidad es desechada en forma de calor, debido a las limitaciones físicas de los ciclos termodinámicos, la cual se podría -- aprovechar más eficiente ya sea en otro proceso industrial que -- utilice vapor, o en la distribución de vapor para uso industrial y de calefacción en tubería.

Si bien las plantas clásicas han mejorado su eficiencia ultimamente, también se sabe que de un cierto rango ya no se va a poder pasar de acuerdo con el principio de Carnot, lo que aumenta el interés de usar plantas de ciclo combinado, la congeneración.

II-6 GUIA PARA EL MEJORAMIENTO DE LA EFICIENCIA DE ENERGIA EN LOS DIFERENTES SECTORES.

Una guía rápida para el mejoramiento de la eficiencia de energía es la siguiente.

El rango de la eficiencia (tomando en cuenta el potencial técnico y los costos) es indicado por:

+++ Muy efectivo.

++ Efectivo



+ Probablemente no tan efectivo, o teniendo alguna de fficiencia técnica o económica. Esta clasificación tiene una - gran cantidad de juicios subjetivos y no deberan ser tomados como una medida absoluta, esta puede variar de un país a otro.

En cuanto al sector residencial - comercial tenemos:

+++ Entrenamiento de jefes de calderas (personal técnico de calderas, de edificios, oficinas y supervisores).

+++ Mejoramiento del control de la ventilación, aire acondicionado, mejoramiento en la circulación del aire, control de la humedad.

+++ Mejoramiento de calderas, aislamientos de calderas, relación de combustión mejorada, aislamientos de ductos.

++ Diseño integrado de nuevos edificios (aislamiento, ventanas, techos, paredes y pisos).

++ Reducción de humedad, sellado de puertas y ventanas.

.. ++ Recuperación de calor perdido.

++ Termostatos de cuartos.

++ Mejoramiento de eficiencia de alumbrado.

+ Mejoramiento de utensilios domésticos.

+ Aislamientos de edificios existentes.

+ Bombas de calor.

+ Vidrios dobles y triples.

+ Calor distribuido.

+ Incremento en el rendimiento de los motores eléctricos.

Sector INDUSTRIAL.

- +++ Mejoramiento en el mantenimiento del equipo utilizado.
- +++ Adecuado suministro de energía.
- +++ Recirculación de materiales usados.
- +++ Diseño integrado de procesos.
- ++. Selección correcta de la energía y tecnología de combustión.
- ++ Recuperación de calor perdido.
- ++ Mejoramiento de aislamiento.
- + Congeneración de potencia y calor.
- + Incremento de la eficiencia.

Sector <sup>de</sup>TRANSPORTE.

- +++ Entrenamiento de operadores.
- +++ Reducción de pesos.
- +++ Mejoramiento de los motores.
- ++ Mejoramiento de transmisión.
- ++ Reducción en la resistencia al aire (adecuado perfil aerodinámico).
- + Reducción en las pérdidas de rodamiento.
- + Mejor utilización del transporte público.

EN SINTESIS.

La problemática de las economías de la energía no es un problema de gobierno exclusivamente sino, como todos los asuntos

tos nacionales, compete a la totalidad de los ciudadanos de un --  
país.

#### BIBLIOGRAFIA

- (1) Programa de Energía  
Elaborado por la Secretaría de Patrimonio y Fomento Indus- -  
trial publicado en el diario oficial del 4 de febrero de 1981
  
  - (2) Round - Table Discusión No.6  
Energy Demand Supply  
Conservation and balance  
11 th world Energy Conference  
11 eme conference Mondiale del'Energie  
11 Weltener giekon ferenz.  
8-12 Sept - München. Munich.
-

# ANALISIS DE LAS NUEVAS FUENTES DE ENERGIA Y LAS NUEVAS TECNOLOGIAS ENERGETICOS

## ENERGIA SOLAR

### USOS ACTUALES Y POTENCIALES A DESARROLLAR

Las aplicaciones presentes y potenciales que utilizan a la energía solar como fuente primaria, serán presentadas de acuerdo a los siguientes tres sectores:

- a) agrícola
- b) industrial
- c) doméstico, tanto rural como urbano.

Desde el punto de vista estrictamente técnico, resulta posible transformar a la energía solar en energía útil para aplicaciones concretas. Los usos actuales y potenciales a desarrollar hasta el año 2000 se fundamentan en base a consideraciones económicas respecto a otras fuentes primarias de energía. En general, se considera que actualmente el aprovechamiento de la energía solar es económicamente viable en zonas marginadas y rurales, capaz de producir un impacto trascendental a corto plazo en el nivel y calidad de vida; evitando a su vez el desplazamiento de la población hacia áreas urbanas al aumentar la productividad regional.

De hecho, para evitar la emigración a las zonas urbanas deberá procurarse que la transformación de energía solar a energía útil, resulte suficiente para el consumo doméstico y para sostener una pequeña agroindustria mediante la cual la familia rural no solamente sea energéticamente autosuficiente sino también productiva.

## Sector agrícola

Se presentan las aplicaciones relacionadas con la producción, almacenamiento y conservación de los productos agrícolas; las agroindustriales se dejan para el siguiente sector.

Mediante la adecuación climática de establos a su medio físico, es posible optimizar las condiciones ambientales de confort, para que la producción de leche se incremente sustancialmente respecto a establos convencionales. Los sistemas pasivos de climatización ambiental permiten a muy bajo costo elevar los niveles de producción al mejorar las condiciones de temperatura y humedad en zonas de clima extremoso.

El secado de productos agropecuarios y marinos tales como cereales, frutas, café, tabaco, cacao, pescado y carne, puede realizarse mediante la circulación de aire caliente proveniente de sistemas fijos de captación solar (colectores). Existen ya sistemas diseñados para ranchos y pequeños poblados construidos con materiales disponibles localmente, fáciles de operar y de mantenimiento mínimo. Los nuevos métodos para el secado solar coadyuvan a la erradicación de plagas y evitar pérdidas por exceso de humedades. Otra aplicación factible es el secado de madera o de carbo**n.**

La llamada agricultura bajo plástico, en la que se utiliza el principio del invernadero, reduce la cantidad de agua requerida para el crecimiento de la cosecha.

Las bodegas frigoríficas y la producción de hielo ten--

drán un impacto enorme en la conservación y el almacenamiento de productos perecederos, problema que es de gran importancia en la mayoría de los países tropicales. Por medio de sistemas de colectores fijos de alta temperatura se tendría la fuente de calor necesaria para producir frío mediante ciclos termodinámicos apropiados.

El tratamiento de aguas salobres puede ser económicamente factible mediante sistemas de colectores móviles (fuente de calor) recurriendo a técnicas convencionales de efecto multflash, tubos sumergidos, ósmosis inversa (con generación de electricidad), etc.

El bombeo para irrigación y transporte de agua se puede realizar por medio de sistemas de colectores móviles y fotovoltaicos. Un gran porcentaje de la energía secundaria utilizada en el sector agrícola corresponde a esta aplicación. En muchos países se prevé la posibilidad de incrementar las zonas de riego, a expensas de las de temporal, y aumentar la productividad a un precio razonable. Los requerimientos de almacenamiento (agua, energía y electricidad) se reducen muchísimo al seguirse el mismo patrón en la insolación y en la demanda. A medida que su costo se reduzca, los sistemas fotovoltaicos pueden también generar electricidad para muchas aplicaciones generales. Actualmente se piensa en la posibilidad de que esos sistemas puedan ser realmente autónomos en zonas rurales donde la potencia necesaria es baja, siendo económicamente más ventajoso que los generadores die-

sal o que el tratar de extender la red eléctrica.

### Sector industrial

La viabilidad técnica y económica del secado de productos a nivel industrial ha sido demostrada a través de diversos proyectos en los que algunas unidades de secado poseen capacidades de cientos de toneladas. En estos se han utilizado sistemas de colectores fijos baratos y fáciles de operar, pudiéndose alcanzar con precisión los ciclos de temperatura requeridos para cada producto específico.

La generación de calor a bajas temperaturas (inferiores a 120°C) para procesos industriales, es posible con sistemas de colectores fijos y estanques solares. Existen algunas instalaciones cuya operación ha sido exitosa. Su impacto en los subsectores alimentario y farmacéutico puede ser de importancia tanto por el volumen de hidrocarburos que sería reemplazado, como por la confianza que produciría su operación continua.

La generación de calor para su conversión a energía mecánica y electricidad puede hacerse por medio de sistemas de colectores móviles y estanques solares. Actualmente se está desarrollando la última fase de demostración sobre su viabilidad técnica. Los análisis realizados indican también una buena posibilidad de éxito económico.

### Sector doméstico

Las aplicaciones que a continuación se presentan no -

han sido separadas en los subsectores urbano y rural, ya que técnicamente no existen diferencias básicas en el diseño de los sistemas. Cabe hacer notar, sin embargo, que debido a los diferentes patrones de nivel de vida, técnicas constructivas y a la falta de una red de distribución de energía que cubra totalmente la extensión territorial de los países, la viabilidad económica y penetración será primero en áreas rurales.

La adecuación de las edificaciones al clima puede llevarse a cabo basándose fundamentalmente en técnicas de heliodiseño y recurriendo a sistemas eólico-solares de climatización ambiental o sistemas solares pasivos. Dado que los sistemas pasivos de enfriamiento, calefacción y ventilación operan esencialmente mediante la captación, distribución y almacenamiento de la energía solar o mediante la disipación de radiación terrestre, sus costos de operación son mínimos, resultando económicamente más ventajosos que los sistemas convencionales de climatización artificial de ambientes.

La producción de hielo y enfriamiento pasivo del agua por medio del enfriamiento radiactivo (infra-rojo) debe impulsarse más en la vivienda rural, donde por la implicidad de sus características técnicas podría tener un importante impacto en regiones tropicales secas o semihúmedas con cielos despejados.

Aunque se han desarrollado cocinas solares con buenas características técnicas, los problemas para su uso pueden concre



tarse en los siguientes: la intermitencia de la radiación directa no permite un enfoque continuo que garantice la cocción oportuna de los alimentos (excepto lugares muy despejados todo el año); se han reportado casos de ceguera (principalmente infantil) debido a la observación continua de la mancha focal; mucha gente no acepta cocinar al aire libre (poco práctico); en lugares donde la oscilación diaria de temperatura es elevada, el cocinar dentro de la vivienda amortigua esta oscilación favoreciendo las condiciones de confort (altiplano) y en consecuencia desalienta el uso de cocinas solares. En zonas urbanas es difícil disponer de un espacio abierto y que además no presente obstáculos circundantes a la radiación solar directa. En conclusión, para favorecer su uso se requeriría de un mayor esfuerzo de investigación y experimentación en condiciones reales y compatibles con la forma de vida de cada grupo poblacional en particular.

El tratamiento de agua para su potabilización a pequeña escala es realizado por sistemas de colectores fijos. Aunque se necesitan relativamente grandes superficies de captación para la obtención de pequeños volúmenes ( $3 \text{ l/m}^2$ ), su impacto en el sector salud es importante. La desalación o potabilización del agua en volúmenes grandes debe ser preferentemente por medio de colectores móviles, al igual que para aplicaciones agrícolas.

El bombeo de agua potable para uso doméstico se puede llevar a cabo con sistemas fotovoltaicos y de colectores móviles, teniendo los primeros una clara ventaja económica para volúmenes-

pequeños. La viabilidad económica de estos sistemas es mayor al poder utilizarse como almacenamiento la energía potencial del agua almacenada en depósitos.

Los sistemas fotovoltaicos deben jugar un papel importante en la integración de las zonas rurales a la comunidad nacional. Una forma factible de hacerlo consiste en la generación de pequeñas plantas con potencias suficientes para propósitos de telecomunicación y educación masiva. Por ejemplo, mediante programas televisivos.

La gran ventaja de los sistemas fotovoltaicos consiste en que no necesitan una red de distribución, cuyos costos actuales por km son elevados. Una superficie de 10 m<sup>2</sup> de celdas solares (con eficiencia del 10 por ciento) puede satisfacer los requerimientos eléctricos de una vivienda urbana para 5 personas.

#### PRINCIPALES TECNOLOGIAS DE CAPTACION Y USO

Las principales tecnologías para el aprovechamiento directo de la energía solar se pueden agrupar en cinco categorías básicas: a) sistemas pasivos, b) sistemas con colectores fijos, c) sistemas con colectores móviles, d) sistemas fotovoltaicos y e) estanques solares. Los dispositivos y equipos utilizados convierten la radiación solar, como fuente primaria, en calor y electricidad. La energía útil, para cualquiera de las aplicaciones presentadas en la sección anterior, se obtiene a partir de tecnologías convencionales que deben ser adecuadas a las características

de la fuente primaria para su eficiente utilización.

En general, los sistemas descritos requieren, en función del uso específico y del microclima local, de sistemas de almacenamiento, tales como acumuladores eléctricos o térmicos. La necesidad de sistemas auxiliares de energía convencional dependerá fundamentalmente de los siguientes factores: disponibilidad oportuna de energía solar, costo de operación del sistema, eficiencia de funcionamiento y, en menor escala, de aspectos tecnológicos difíciles de resolver. La inversión en un equipo auxiliar solamente se justificará cuando se requiera de una elevada eficiencia de funcionamiento del sistema solar para que mejore sustancialmente y multiplique los beneficios que se espere obtener de él, amortizando a corto plazo dicha inversión.

#### Sistemas pasivos

El diseño de sistemas solares pasivos involucra la adecuación de las edificaciones a su entorno físico para que, aprovechando al máximo posible los beneficios de los recursos del medio ambiente, tales como el sol, viento y las propiedades térmicas de los materiales de la propia edificación y de su entorno, puedan alcanzarse niveles ambientales satisfactorios de bienestar fisiológico que permitan al hombre desarrollar confortablemente sus actividades cotidianas de vida y de trabajo, prescindiendo hasta donde sea posible de sistemas auxiliares de climatización ambiental artificial (ventiladores, bombas, calderas, etc.). El

diseño pasivo trata de hacer compatible la edificación con el medio ambiente, de tal manera que los procesos de transferencia de calor y de masa entre ambos se realicen naturalmente y en el sentido que diaria o estacionalmente se requiera. Los sistemas pasivos de climatización involucran proceso de captación, distribución, descarga y almacenamiento de energía haciendo uso de los elementos arquitectónicos de la construcción, por lo que el costo del sistema resulta sumamente económico y generalmente no incrementa el costo convencional de la edificación. Las variables más importantes que intervienen en el diseño de un sistema pasivo de enfriamiento o calefacción fundamentalmente son: la temperatura ambiente, la temperatura de las superficies del entorno, el nivel de humedad y la velocidad del aire circulante.

#### Sistemas de colectores fijos.

Los sistemas fototérmicos son aquéllos que convierten la radiación solar a calor que puede ser utilizado directamente o bien convertido a energía mecánica y eléctrica. Aunque los aspectos fundamentales de estos sistemas no dependen del movimiento del colector, se considera necesaria su división en función de aspectos técnicos, económicos y de uso.

Para la conversión de energía solar a calor los sistemas de captación fija utilizan, en su mayoría, colectores planos. Estos están compuestos de los siguientes elementos: a) una cubierta transparente o translúcida que produce el efecto invernadero y

disminuye las pérdidas por convección internas y externas (debid-  
das al viento); b) placa absorbente, la cual es calentada por la  
radiación incidente (directa y/o difusa); c) un fluido de traba-  
jo, que transfiere el calor de la placa absorbente al sitio a --  
utilizarse; éste puede ser agua, aire o algún otro fluido espe--  
cial; y, finalmente, d) aislante, tanto en las partes laterales--  
como en las superficiales no expuestas al sol, reduciendo las --  
pérdidas de calor del colector, en especial de la placa absorber  
te. Existe una gran variedad de diseños y materiales utilizables  
El criterio de selección depende de aspectos económicos, eficien-  
cia y temperatura de operación requerida, tiempo de vida y apli-  
cación específica.

#### Sistemas de colectores móviles.

Para que los fluidos de trabajo alcancen temperaturas  
superiores a los 200°C, es necesario concentrar los rayos sola--  
res sobre el absorbedor. Esto tiene dos implicaciones importan--  
tes: la componente difusa de la radiación no puede ser utilizada  
por su naturaleza multidireccional; así que el colector tiene --  
que ser móvil - ya sea el concentrador o el absorbedor - para --  
captar una mayor cantidad de energía al seguir el movimiento del  
sol.

#### Estanques solares

Este sistema es un colector almacenador de energía so-  
lar en forma de estanque, o poza, de 2.5 m de profundidad en pr

medio, en la que el agua presenta un alto gradiente de salinidad, de tal forma que entre la superficie y el fondo puede existir un gradiente de temperatura de 50-70°C. La eficiencia típica de colección es de aproximadamente 20 por ciento y su costo de fabricación puede ser bajo. Los estanques solares pueden ser utilizados para procesos industriales, como concentración de sales, y para generación de calor y electricidad. También tienen la enorme ventaja de almacenar el calor y poder ser utilizados de día o de noche. Debido a las pérdidas caloríficas laterales y a la posible inestabilidad del agua salina, se considera que los estanques pequeños no son económicos. La viabilidad tecnológica ha sido demostrada y el énfasis en la investigación se ha concentrado en dos áreas: a) tecnología de materiales para evitar la degradación debida a la alta salinidad de la solución y b) problemas de estabilidad en el estanque debido a los mecanismos de extracción del calor almacenado, además de la inestabilidad producida por el viento.

#### Sistemas fotovoltaicos

La celda solar o fotocelda es un dispositivo semiconductor que por medio del efecto fotovoltaico convierte directamente a la energía solar en electricidad (corriente directa) en las siguientes condiciones: densidad de corriente entre 10 y 40 mA/cm<sup>2</sup> y voltaje entre 0.5 y 1 volt. La fotocelda es el elemento unitario que al unirse en serie y/o paralelo forma un panel, cuya po--

tencia de salida puede ser entre 2 y 50 watts-pico (watts generados a una insolación de  $1,000 \text{ w/m}^2$  y una temperatura ambiente de  $20^\circ\text{C}$ ). Los paneles forman sistemas fotovoltaicos de capacidad de generación variable. Estos sistemas tienen la enorme ventaja de no contar con partes móviles.

La investigación que actualmente se desarrolla en el campo fotovoltaico se enfoca principalmente hacia: a) la disminución en los costos de los materiales y procesos de fabricación, b) aumento en la eficiencia de conversión, c) protección contra degradación, aunque ya se han obtenido tiempos de vida del orden de 20 años, d) resolver problemas de interfase y control en los sistemas de gran capacidad instalada, y e) problemas de almacenamiento para sistemas de grandes potencias, ya que para aplicaciones pequeñas las baterías electroquímicas son una buena solución

Tomado de: Potencial y estado de aplicación de la energía solar en América Latina (Trabajo realizado por el Instituto de Investigaciones en Materiales de la Universidad Nacional Autónoma de México para la Comisión Económica para América Latina), Febrero 1981.

#### BIOMASA

La biomasa se define como la materia vegetal o animal convertible en energía. Comprende árboles, arbustos, otros tipos de vegetación leñosa, hierbas y otras plantas herbáceas, cultivos que son fuente de energía, algas, plantas acuáticas, residuos de

---

la agricultura, residuos forestales, abonos, residuos sólidos, residuos industriales, aguas de desecho y desechos humanos. Son bien conocidos los usos de la biomasa para la energía, tales como la conversión de residuos de la madera y de operaciones agrícolas mediante combustión directa (quema) para la producción de calor, vapor o electricidad; la conversión de la caña de azúcar y de otros cultivos mediante fermentación para producir combustibles a base de alcohol; la conversión de abonos de origen animal mediante la biotransformación para producir metano y anhídrido carbónico (biogás); la conversión de residuos de la madera y de la agricultura en combustibles gaseosos o líquidos mediante sistemas de conversión termoquímica, y la producción de aceites vegetales utilizables como sustitutos del aceite diesel.

La biomasa satisface actualmente del 16 por ciento al 20 por ciento del total de las necesidades mundiales de energía, lo que equivale aproximadamente a 8.5 millones de barriles de petróleo al día.

La biomasa es la principal fuente de energía en las zonas rurales de países en desarrollo, donde vive alrededor de la mitad de la población mundial. En esas zonas proporciona energía para la supervivencia y representa también casi la totalidad de la energía utilizada. La biomasa también proporciona energía para el desarrollo (elaboración en la agricultura e industria) en muchas regiones del globo.



La energía de la biomasa es fácilmente adaptable con limitaciones sociales mínimas y es ambientalmente aceptable. La amplia utilización de la biomasa para el desarrollo puede dar resultado un medio ambiente más puro, con un desequilibrio ecológico mínimo, y proporcionar medios para el reaprovechamiento de nutrientes y anhídrido carbónico atmosférico.

#### Definición de las tecnologías

Las tecnologías de conversión se clasifican en generales en biológicas y termoquímicas.

#### Conversión energética biológica.

La conversión biológica entraña la desintegración enzimática de la biomasa, con producción de energía, mediante microorganismos en condiciones anaeróbicas. Los principales métodos son: a) la biometanización, (digestión anaeróbica), que produce un combustible compuesto de metano y óxido de carbono (biogás); b) producción de etanol por fermentación, para obtener un combustible líquido; c) despolimerización química o enzimática de materia lignocelulósica para obtener lignina y azúcares simples, proceso que merece particular atención; y d) otros procesos microbiológicos anaeróbicos.

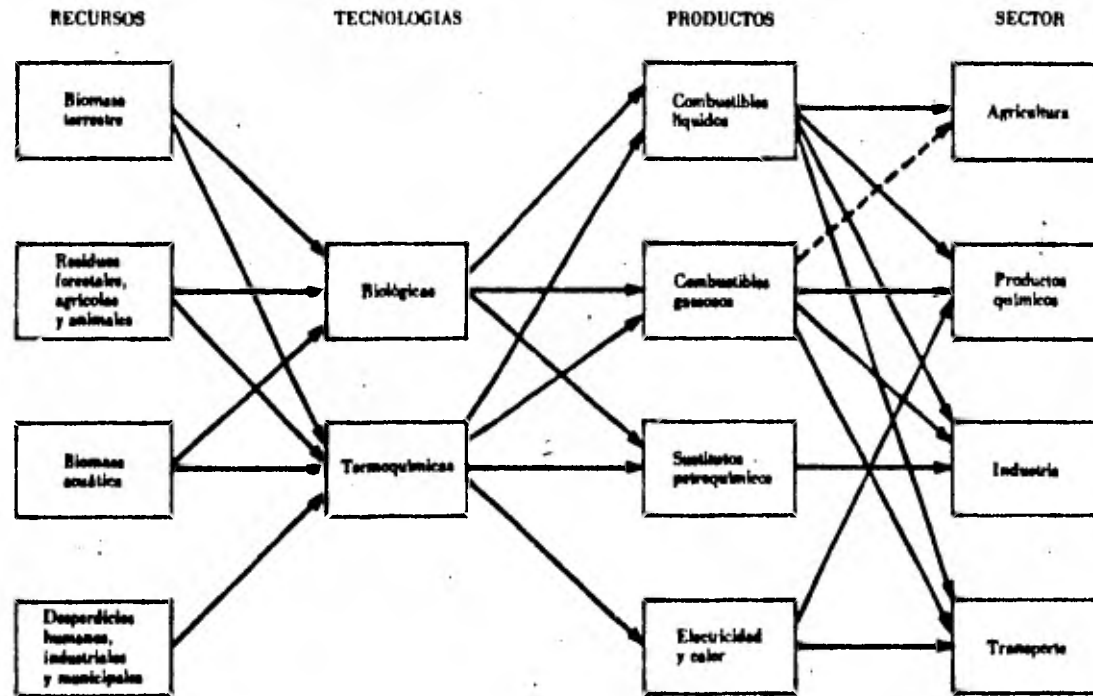
**Biometanización.-** La biometanización es un proceso microbiológico que convierte la biomasa, en ausencia de oxígeno, en metano y dióxido de carbono (biogás), dejando un residuo estéril.

lizado que es particularmente adecuado como fertilizante orgánico o acondicionador del suelo.

La biometanización es un proceso común, debido a su amplia aplicación en el tratamiento de aguas cloacales para estabilizar los sólidos sedimentables y reaprovechar los nutrientes. Pese a que se viene utilizando desde hace aproximadamente un siglo apenas está empezando a ser comprendido. El proceso funciona de manera óptima en el caso de sustancias orgánicas con alto contenido de humedad. Por lo general, la cantidad de metano producida es mayor que la de dióxido de carbono. En los tanques sépticos y depósitos de basura, el proceso es muy lento a temperatura ambiente. A consecuencia de recientes investigaciones y experiencias con instalaciones en escala operacional, se ha mejorado la generación y la concentración de metano mediante la utilización de altas concentraciones de microorganismos termofílicos o mediante una mejor adaptación del proceso a las condiciones ambientales. La selección de parámetros ambientales apropiados también puede contribuir a aumentar la producción de metano. El gas puede quemarse hasta adquirir un alto valor energético o convertirse en gas natural sintético mediante la eliminación del dióxido de carbono.

**Producción de etanol por fermentación.**— Se produce etanol por conversión biológica anaeróbica de azúcares, mediante microorganismos como levaduras, bacterias u hongos. Esos azúcares -

## Sistemas energéticos de biomasa



se obtienen de los carbohidratos, el almidón y los materiales lignocelulósicos. El etanol producido se concentra para utilizarlo como fuente de energía.

La tecnología para producir etanol a partir de azúcares y almidón mediante procesos de fermentación está bien establecida. En muchos países existen instalaciones de distinto tamaño - hasta 700,000 litros por día - y se utilizan distintos procesos basados en la biomasa; por ejemplo, en el Brasil, la India, Zimbabwe y los Estados Unidos.

Los esfuerzos a corto plazo en materia de fermentación se han concentrado en el uso de cultivos azucareros, esto es, caña de azúcar, remolacha azucarera y sorgo dulce, en lugar de cereales. El sorgo dulce parece ser el cultivo más viable, dado que puede cultivarse en muchas regiones del mundo y no es muy utilizado como cultivo alimenticio para los seres humanos ni para los animales. Por hectárea, el sorgo dulce permite obtener aproximadamente el doble de azúcar y de alcohol en bruto que el maíz.

Fermentación lignocelulósica.- Los esfuerzos a mediano y largo plazo en materia de investigación y desarrollo se han orientado hacia la hidrólisis de los residuos agrícolas y forestales y hacia cultivos nuevos destinados especialmente a su conversión en combustibles. Esas materias primas de biomasa pueden transformarse en azúcares mediante hidrólisis enzimática o ácida.

En el proceso de fermentación algunos de esos azúcares se convierten en etanol. Las actividades de investigación y desarrollo están encaminadas a lograr, a bajo costo, la producción y separación de azúcares fermentables, dejando la lignina y los azúcares no fermentables. Esas fracciones representan aproximadamente las dos terceras partes de los materiales empleados en esos procesos. La lignina puede utilizarse como combustible para el proceso o convertirse en otros materiales aún no identificados.

#### Conversión termoquímica.

La conversión termoquímica denota tecnologías que utilizan temperaturas elevadas para convertir los materiales de biomasa mediante: a) la combustión directa para producir calor; b) la pirólisis para producir gas, líquidos pirolíticos, productos químicos y carbón; c) la gasificación para producir gas de poder energético intermedio o bajo que puede someterse a procesos de licuefacción indirecta para producir amoníaco, metanol o líquidos de Fischer-Tropsch o puede mejorarse para producir gas natural sintético, y d) la licuefacción para producir combustóleo pesado o, mejorando el proceso, líquidos de punto de ebullición más bajo utilizados como destilados, combustóleo liviano o gasolina.

Combustión directa.- En la actualidad la combustión directa de biomasa, en forma de leña y carbón vegetal, suministra energía para cocina y calefacción a la mayoría de la población rural del mundo. La biomasa suministra calor, vapor y electrici-

dad en la industria de productos forestales, papel y pulpa de madera. Además, las compañías de servicios públicos grandes y pequeñas de todo el mundo producen cantidades reducidas de electricidad en plantas alimentadas con madera.

**Pirólisis.**- La pirólisis es la descomposición térmica de materiales carbónicos en ausencia de oxígeno. Según una definición más amplia, la pirólisis es un sistema que descompone térmicamente los materiales carbónicos, y en el que hay por lo menos una zona en que la descomposición térmica se hace en ausencia de oxígeno. Algunos ejemplos de pirólisis son: la destilación seca de la madera para producir metanol, carbón vegetal y gas de bajo poder energético; la coquificación del carbón en la fabricación del hierro y el acero, y la coquificación en la industria del petróleo. Se producen cantidades aproximadamente iguales de aceite, carbón vegetal y gas, pero uno o más de los tres productos deben usarse para proporcionar la energía para el proceso.

Los aceites que se producen por pirólisis de la biomasa contienen poco azufre, cenizas y nitrógeno y dan pocos problemas en la combustión. Sin embargo, son ácidos y termosensibles y requieren algunas precauciones para su almacenamiento y manipulación. El carbón vegetal es más fácil de almacenar, transportar y distribuir que la biomasa; contiene poco azufre y nitrógeno y puede usarse en los hogares para cocinar y en la industria para obtener calor. Sin embargo, el valor energético del carbón vegetal

es mayor por kilojulio que el de la biomasa.

El gas producido es impuro, tiene escaso valor energético y puede quemarse directamente para producir la energía que requiere el proceso o depurarse para ser utilizado en motores.

Gasificación y licuefacción indirecta.- La gasificación se define como la descomposición térmica de material orgánico ayuda de un gas auxiliar, como aire, oxígeno o hidrógeno, a fin de obtener únicamente productos finales gaseosos. Durante muchos años se ha producido gas de bajo valor energético que se ha usado en motores de gas, en la generación de energía eléctrica y para otros fines industriales. El tamaño de las unidades se ha limitado a no menos 50 toneladas de peso al día. La tecnología está bien desarrollada y varios fabricantes producen unidades comerciales.

El principal <sup>a</sup> objetivo de la investigación y el desarrollo en materia de gasificación y licuefacción indirecta ha sido la producción de gas de mediano valor energético, gas de alto valor energético o gas natural sintético, y la conversión de gas en combustible líquido por licuefacción indirecta para producir metano o combustible sintético (gasolina).

Los estudios económicos de los sistemas de biomasa indican que el metanol producido con madera sería más caro que el carbón, debido al menor tamaño de las unidades de biomasa. No obstante, hay posibilidades de reducir los costos. Entre las modificaciones propuestas están el uso de catalizadores y la eliminación

de las unidades de depuración de sulfuro de hidrógeno y dióxido de carbono. Además, la concentración de las unidades de gasificación cerca de las fuentes de biomasa y el transporte del gas por un gasoducto a una unidad central de producción de metanol puede reducir mucho los costos.

**Licuefacción.** - La licuefacción se define como un proceso termoquímico que a altas temperaturas y presiones y en presencia de catalizadores produce líquidos. En algunos países se están operando plantas de desarrollo del proceso para producir combustible a partir de la biomasa mediante licuefacción.

Tomado de: Informe del Grupo Técnico sobre energía biomasa acerca de su segundo período de sesiones, Enero 1981.

#### ENERGIA EOLICA

La energía eólica se deriva del calentamiento diferencial de la atmósfera por el sol y de las irregularidades de la superficie terrestre. Si bien sólo una pequeña fracción de la energía solar que llega a la Tierra se convierte en energía cinética del viento, esto representa un total enorme. Lo que es más importante, la naturaleza concentra esta energía en ciertas regiones de modo que en muchos lugares el flujo medio de energía eólica por unidad de densidad energética puede ser igual o superior al flujo medio de energía solar.

La potencia que se puede obtener con un sistema eólico es proporcional al cubo de la velocidad del viento; al duplicarse



la velocidad del viento, al duplicarse la velocidad del viento, la potencia crece al óctuple. Por consiguiente, la velocidad media del viento en la zona (en realidad, la característica real de distribución de los vientos) es un factor importante en las consideraciones económicas relativas a los sistemas eólicos.

La energía eólica es un recurso bastante variable en tiempo y lugar. La variabilidad con respecto al tiempo ocurre en intervalos de segundos (ráfagos), minutos (variaciones de potencia), horas (ciclos diurnos) y meses (variaciones estacionales). De esta variabilidad se desprende que la utilización óptima de la energía eólica tiene lugar en tres situaciones:

a) Interconectada con otras centrales de energía, que varían desde una pequeña planta diesel hasta una gran red de distribución de energía eléctrica. En tal caso, la producción del a motor se utiliza para economizar combustibles tradicionales; no obstante, en aplicaciones a sistemas de servicios públicos se logra también cierto aumento de la capacidad.

b) Utilizada en relación con alguna forma de almacenamiento de energía como baterías o sistemas hidroeléctricos de bombeo. En este caso se puede obtener un suministro estable, pero deben tenerse en cuenta los gastos adicionales y las pérdidas asociadas con el sistema de almacenamiento.

c) Utilizada en aplicaciones en que el empleo final de la energía es relativamente independiente del tiempo, en que exi

te una constante de tiempo que admite cierta tolerancia en las fluctuaciones del viento o en que se puede almacenar un producto final. Entre los ejemplos de estos tipos de aplicaciones se incluyen ciertos tipos de riego, bombeo y desalación de agua, calentamiento, secado y refrigeración de productos agrícolas.

Además, hay aplicaciones y localidades en que existe una posible correlación de correspondencia beneficiosa, en términos estadísticos, entre la disponibilidad del viento y las necesidades de energía. En muchas zonas, el viento tiende a soplar al atardecer y al anochecer, ahora habitual de demanda máxima de energía. Los vientos invernales, que pueden asociarse a las necesidades de calefacción en los climas fríos, y los vientos fuertes de primavera y otoño, que pueden coincidir con bajos niveles de agua en los embalses, son también ejemplos de correlaciones que pueden acrecentar el valor de la energía eólica. No obstante, la capacidad de predecir las características del viento en un momento dado es limitada, esta incertidumbre debe tenerse en cuenta en el cálculo de los aspectos económicos, los márgenes de reserva y el almacenamiento.

La velocidad media del viento puede variar mucho en distancias geográficas relativamente reducidas debido a los efectos del terreno (montañas, efectos de embudo en los valles y perfil de terreno) y al calentamiento disperejo de la superficie terrestre (zonas litorales, grandes lagos y bosques). Esta variación con el terreno constituye una importante ventaja, al mismo tiempo que pla

tea un gran problema para la energía eólica.

El problema consiste en localizar las mejores zonas de vientos y determinar los recursos eólicos en una zona concreta que se puedan aprovechar en la práctica. No basta con estaciones únicas de medición y muchas, cuando no la mayoría, de las estaciones anemométricas existentes no se escogieron inicialmente teniendo presente la energía eólica (tales como las instalaciones de aeropuertos). Por tanto, son necesarias una evaluación del recurso de energía eólica y la "prospección" de buenos sitios en lo que respecta al viento.

La energía eólica ha sido una de las pocas formas de energía renovable en que tradicionalmente ha sido favorable la relación entre el costo y los beneficios y que ha sido práctica en muchas épocas anteriores. Lo que hay que determinar es si la combinación de los mayores conocimientos relativos al viento y los sistemas eólicos, aunados a los crecientes gastos y las cargas económicas asociados a los combustibles fósiles, pueden dar lugar a que el viento represente nuevamente una contribución energética en gran escala. Los recientes experimentos y evaluaciones indican que es probable que así sea.

Desde 1973, las aeroturbinas se han desarrollado intensamente, y las máquinas que se han creado utilizan los más importantes avances tecnológicos que han tenido lugar en los años recientes en las esferas del diseño estructural, los mate-

riales y el control, y también aprovechan los mayores conocimientos relativos a la carga del viento y el desempeño rotoaerodinámico.

Actualmente se considera que las mayores posibilidades que ofrecen los sistemas de energía eólica son las siguientes:

a) Para el bombeo de agua en zonas rurales, incluso con vientos de velocidad media de apenas 3 a 3.5 metros por segundo (m/s).

b) Para el suministro de energía eléctrica a hogares y comunidades aisladas, en combinación con sistemas diesel de apoyo o de almacenamiento de energía.

c) Integrados en grandes redes de distribución de energía eléctrica, reduciendo de esta forma el consumo de combustible en las centrales de energía. Tales aplicaciones en gran escala -- exige por lo general vientos de velocidad media bastante alta, -- en general superior a los 5 m/s, para que sean económicas, pero -- en muchos países soplan vientos de esa velocidad.

También es viable la utilización de máquinas eólicas -- para otros objetivos, tales como la calefacción, la refrigeración y la desalación de agua.

Existen tres aspectos principales en la tecnología de -- la energía eólica, a saber:

a) Tipo de máquina, por ejemplo, de eje horizontal, variando desde velas y aspas múltiples hasta hélices de alta veloci-

dad, y de eje vertical, variando desde rotores Savonius hasta rotores Darrieus de alta velocidad y sus variantes.

b) Objetivo, por ejemplo, bombeo de agua, de salación de agua, calefacción, refrigeración, generación autónoma de energía eléctrica y generación de energía con conexión a una red.

c) Tamaño de la máquina; por ejemplo, pequeña (menos de 10 KW), mediana (10 a 100 KW), de mediana a grande (100 a 1000 KW) y grande (más de 1 MW).

Tomado de: Informe del Grupo Técnico sobre energía eólica sobre su segundo periodo de sesiones, Diciembre de 1980.

#### GEOTERMIA

En las profundidades de la Tierra las temperaturas superan los 1,000°C. El gradiente térmico resultante genera una corriente de calor hacia la superficie, que es la fuente de la energía geotérmica.

La energía geotérmica es generada en forma continua por el flujo térmico procedente del núcleo de la Tierra. Por lo tanto constituye una forma renovable de energía. Sin embargo, salvo en el caso de la energía geotérmica procedente de las zonas magmáticas altamente activas, el flujo utilizado es por lo general mayor que el flujo térmico de entrada. Posteriormente se utiliza el calor almacenado en el subsuelo. Por lo tanto, debe considerarse que este tipo de operación consiste en la utilización de un depósito finito, es decir, la utilización del depósito durante un período li-

---

mitado seguido de un período de duración variable necesario para reabastecer el depósito.

Se considera que, dado el actual estado de desarrollo tecnológico, una profundidad de perforación de 3,000 metros constituye el máximo económicamente viable para la explotación de la energía geotérmica. Por otra parte, alrededor del año 2000 el potencial disponible debería incluir todas las zonas meta situadas a menos de 5,000 metros de profundidad. Se calcula que globalmente la base de recursos para todos los países del mundo, incluida las desviaciones de los gradientes medios de temperatura en los casos conocidos, es de  $14.5 \times 10^{25}$  joules, o sea,  $4 \times 10^{13}$  GWh(t). Es ésta una cantidad muy considerable de energía que constituye el principal factor en apoyo de la importancia de la energía geotérmica.

La explotación de la energía geotérmica requiere el transporte de calor a la superficie en cantidades suficientes y en forma controlada. Ello tiene dos consecuencias principales. En primer lugar, la energía geotérmica debe obtenerse mediante perforación. En segundo lugar, debe ser transportada por un fluido de transferencia de calor. Cabe prever distintos usos según el nivel termodinámico de este fluido en la cabeza de pozo.

La energía geotérmica puede clasificarse en energía de alto y bajo nivel; el límite entre ambas categorías se encuentra en el intervalo de valores comprendidos entre los 150 y los 180

Las masas rocosas calientes y secas contienen una gran cantidad de calor. La falta de porosidad natural y, por ende, de agua, que en circunstancias normales funciona como fluido de transferencia de calor, significa que la energía potencial no puede obtenerse fácilmente. Por lo tanto, para poder explotar estos recursos es necesario dominar previamente las técnicas de fracturación y mantenimiento de permeabilidad mejoradas.

Otra fuente potencial son las zonas de geopresión que a menudo se encuentran en formaciones sedimentarias. Estas tienen yacimientos de formaciones porosas permeables y contienen líquidos sometidos a presiones y temperaturas anormalmente elevadas en comparación con las condiciones habituales. No se conoce cabalmente la magnitud de estos recursos cuya explotación plantea difíciles problemas técnicos.

También es posible imaginar otras fuentes de energía, como los magmas más próximos a la superficie del suelo o, en casos excepcionales, campos de lava caliente en la superficie del suelo.

La energía geotérmica puede utilizarse ya sea como calor directo en aplicaciones industriales, comerciales o domésticas o, de ser la temperatura adecuada, para generar electricidad. El transporte a larga distancia de los fluidos geotérmicos impone una gravosa carga económica a su uso directo y, por este motivo, las aplicaciones directas por lo general se encuentran en las proximidades

del yacimiento en explotación.

Además, para su determinado mercado, la energía geotérmica debe competir con otras fuentes de energía. La decisión de explotarla debe fundarse en definitiva en criterios económicos. Por lo tanto, la mayor parte del costo de la energía geotérmica depende del costo de financiamiento; cuanto más regularmente se utilicen las instalaciones a valores próximos a su capacidad máxima, tanto más viables serán.

Según los cálculos, en 1980 el total de la capacidad instalada de energía hidrotérmica de baja temperatura ascendía 8,000 MW(t). En el cuadro 1 figura un desglose por país.

Cuadro 1

Total de la capacidad instalada de energía geotérmica de baja temperatura correspondiente a 1980 (más de 15°C).

<u>País</u>	<u>Capacidad de producción</u>	<u>(MW/t/)</u>
Austria	5	(21)
Checoslovaquia	43	(35)
China	151	(144)
EUA	115	(111)
Francia	56	(56)
Hungría	1,166	(619)
Islandia	1,141	(932)
Italia	-265	(-73)
Japón	4,475	(81)
Rumania	36	(36)
URSS	555	(555)
	<u>8,008</u>	<u>(2,644)</u>

Las cifras que figuran entre paréntesis corresponden a usos distintos de baño.



### Sistemas de energía geotérmica.

Cuando los recursos geotérmicos van acompañados de fluidos transmisores del calor (agua, sal muera, vapor), se habla de energía hidrotérmica. Cuando esos fluidos no están presentes en forma natural, o cuando la permeabilidad es demasiado baja, se habla de energía geotérmica de roca caliente y seca.

### Sistemas hidrotérmicos de baja temperatura.

Los recursos hidrotérmicos de baja temperatura se dan principalmente en dos medios geológicos diferentes: las zonas de actividad volcánica y las cuencas sedimentarias. Hoy en día se están utilizando ambos.

La explotación en busca de un depósito geotérmico de baja energía no volcánico es muy semejante a la exploración de petróleo. El objeto es encontrar una capa subyacente formada por rocas permeables, llena de agua y situada a tal profundidad que, debido al gradiente geotérmico, tenga una temperatura superior a un determinado límite mínimo fijado por razones técnicas y económicas.

Además de la calefacción ambiental, los recursos hidrotérmicos de baja temperatura tienen muchos usos, según la temperatura. Se utilizan, por ejemplo, en agricultura, en baños, en cultivos de invernadero, en el secado de productos orgánicos, en la extracción de sal de la salmuera o el agua de mar y en la producción de calor para procesos industriales (véase el cuadro 2).

La energía geotérmica tiene la ventaja de no necesitar

apenas almacenamiento. El mismo horizonte geológico del que se extraen los fluidos sirve para almacenar el calor. La energía puede producirse con arreglo a la demanda en cualquier momento. Los gastos fijos de producción siguen representando la parte más importante del costo de esta energía. Para que las inversiones tengan un rendimiento adecuado, las instalaciones deben funcionar lo más cerca posible de su capacidad de producción óptima. La producción se caracteriza tanto por una gran flexibilidad técnica como por una alta rigidez económica.

La energía hidrotérmica de baja temperatura tiene una escala de aplicaciones muy variada: desde el uso de distintas fuentes termales naturales individuales para varios fines, hasta el suministro, a partir de pozos de sondeo, de calefacción ambiental para una ciudad de más de 100,000 habitantes, lo que requiere varios centenares de MW(t). Cuando se encuentra, esta forma de energía puede competir con otras fuentes posibles de energía. Además, en regiones aisladas puede servir de base incompatible para el desarrollo local. El tamaño del mercado determina la distancia a la que resulta económico transmitir esta forma de energía.

Sistemas hidrotérmicos de alta temperatura.

Estos sistemas se caracterizan por altas temperaturas a profundidades relativamente cercanas a la superficie y por lo general están relacionados con la actividad volcánica reciente

# Localización de campos geotérmicos



En las zonas continentales, el sistema de este tipo de temperaturas más bajas, que corresponde aproximadamente a 150°C, se encontraría a profundidades superiores a 5,000 metros y, con la tecnología actual, su explotación se consideraría poco económica.

Aunque la exploración todavía plantea algunos problemas, existe una tecnología bien establecida para aprovechar estos recursos a profundidades inferiores a 2,000 metros. En más de 20 países, tanto desarrollados como en desarrollo, existen proyectos de exploración y desarrollo de la generación de energía.

En la actualidad y en el futuro previsible la aplicación principal de los campos de altas temperaturas consistirá en la generación de electricidad. En el cuadro 3 figura la capacidad instalada en 1980 y la capacidad prevista hasta el año 2000.

Ahora bien, la energía geotérmica se utiliza de la manera más eficiente como calor directo. Esto exige aplicaciones en las cuales el componente de energía del costo del producto final sea alto y para las cuales los costos de otro tipo de combustible serían considerablemente más altos. A consecuencia de ellos es preciso que la utilización se haga en el propio campo o a pocos kilómetros. En cualquier caso, como es probable que la energía resultante de un campo geotérmico de alta temperatura sea considerablemente superior a las necesidades de calor directo de cualquier industria, sería preciso investigar aplicaciones de objetivos múltiples. Entre estos objetivos figuraría el empleo del ca-

lor residual de la generación de electricidad.

A valores de 1979, el costo por kilowatt instalado para la generación de electricidad oscila entre los límites siguientes:

	Costo (dólares/k W)	
	Valor mínimo	Valor máximo
Exploración	7	19
Producción de fluidos	150	500
Red de separación y de captación	30	240
Central de energía eléctrica	400	750
Tratamiento y eliminación del efluente	<u>30</u>	<u>200</u>
	617	1 709

Estos costos no incluyen los gastos de instalación, el precio del terreno ni los gastos de alojamiento del personal operacional permanente.

Tampoco incluyen los posibles intereses durante el período de construcción. También hay que tener en cuenta que los costos máximos totales en noviembre de 1980 pueden ser un 30 por ciento superiores a los 1,709 dólares.

Al igual que todos los sistemas geotérmicos, los sistemas hidrotérmicos de alta temperatura, en esencia, entregan energía que estaba almacenada.

La escala de utilización quedará determinada por el tamaño, la temperatura y la permeabilidad del campo, todo lo cual rige la cantidad total de la energía disponible y la calidad del ritmo de descarga del campo. Las dimensiones de una instalación utilizada para generar electricidad estarán determinadas, además,

de los factores mencionados, por las exigencias del mercado. El mercado puede exigir una instalación grande que produzca la mayor cantidad de energía en poco tiempo. A consecuencia de esta política, la instalación puede tener una vida relativamente breve y el total de la energía recuperada puede ser inferior a la de una instalación más pequeña que funcione durante un período de tiempo mayor.

#### Energía geotérmica de rocas secas y calientes.

En la naturaleza abundan las masas de roca caliente que contienen cantidades importantes de energía geotérmica, la cual no puede extraerse por la sencilla razón de que no existen fluidos transmisores del calor ni cauces naturales a través de los cuales puedan circular tales fluidos. La energía en potencia es importante debido a la abundancia de este tipo de roca a niveles profundos, donde las temperaturas son más elevadas.

El principio en que se basa la explotación de este recurso supone la creación de cauces permeables adecuados que haga posible la circulación en el interior de la roca seca y caliente de un fluido que transporte el calor y lo haga llegar al equipo que lo utilizará al nivel del suelo. Para que esta operación resulte económicamente factible, es imprescindible que el régimen de transferencia de la energía geotérmica al fluido sea regular y que el sistema de drenaje térmico se aplique a una gran masa de roca.

Los resultados experimentales obtenidos hasta la fecha demuestran que es técnicamente factible extraer energía de un depósito de rocas en que se haya practicado una fractura hidráulica. Aunque los estudios económicos preliminares indican que la energía obtenida mediante esta técnica puede resultar competitiva, la evaluación final dependerá de la vida útil de los depósitos, parámetros éste que queda por determinar:

Este tipo de energía geotérmica entraña la promesa de flexibilidad de ubicación, una pérdida de agua reducida y factores ambientales más benignos que los que acompañan a los sistemas hidrotérmicos normales.

Dadas las enormes cantidades de energía almacenada en las profundidades de la Tierra, este tipo de energía geotérmica podría adquirir gran importancia para muchos países si se demuestra que la idea es económica. Es todavía demasiado pronto para calcular el intervalo de energía dentro del cual su utilización resultaría económicamente rentable, o para evaluar de manera segura en qué área del mundo se podría aplicar esta tecnología particular.

#### Técnicas especiales de utilización

##### Ciclo binario

Los sistemas hidrotérmicos corrientes, es decir, aquellos en los que el vapor producido se emplea directamente, no aprovechan al máximo la energía térmica disponible, puesto que

una parte importante del calor se elimina junto con las aguas residuales. Además, este calor se limita a aplicaciones térmicas y no puede convertirse directamente en energía mecánica y eléctrica.

Con la introducción de un ciclo secundario, la mayor parte de la energía disponible en el fluido geotérmico se puede transmitir a otro fluido dotado de propiedades físicas que permitan recuperar energía mecánica. Los productos empleados son hidrocarburos naturales o halogenados: butano, hexano y freones.

El calor se trasmite del fluido primario al fluido secundario mediante un termocambiador o permutador térmico. El efecto de esta transmisión es que el fluido secundario pase de la fase líquida a la gaseosa. El fluido secundario en estado gaseoso se transporta luego a una turbina conectada con un generador. Se hace que el vapor pase a un condensador en el que se enfría y condensa, para luego regresar al permutador térmico, con lo que se cierra el ciclo secundario.

Dilatadores de flujo total.

Las turbinas de flujo total ofrecen el sistema de conversión general más sencillo que puede utilizarse en los sistemas en los sistemas hidrotérmicos en que predomina el agua. En este proceso, el flujo total procedente del pozo penetra en la turbina. La ventaja reside en la simplificación del equipo de superficie, así como en la supresión de las pérdidas que acompañan a la separación necesaria en las centrales más corrientes. Se han diseñado



do diversos aparatos de este tipo para la etapa de laboratorio, entre ellos tipos de dilatadores o turbinas de flujo axial y de plazamiento positivo.

Circuito termogravimétrico.

En este proceso, un fluido de bajo punto de ebullició se vaporiza mediante fluidos geotérmicos de baja temperatura. E gas se introduce en la base de una columna de agua que constitu una de las partes de un circuito cerrado. El vapor actúa a mane de elevador gaseoso, haciendo que el agua se desplace por el ci cuito e impulse una turbina hidráulica situada en el segundo tr mo del circuito.

Tomado de: Informe del Grupo Técnico sobre energía ge térmica correspondiente a su segundo período de sesiones, Dicie bre 1980.

#### LEÑA Y CARBON VEGETAL.

Desde el descubrimiento del fuego, la leña ha sido l principal fuente de energía renovable para tareas tan básicas c mo la cocción de alimentos y la calefacción, y también ha desem ñado un papel importante en actividades industriales como la me lurgia del hierro y la fabricación de ladrillos. En los último 200 años, desde que se descubrieron los combustibles fósiles, q se pueden utilizar en forma mucho más eficaz, éstos han proporc nado una base importante para la industrialización y el crecimi

to económico. En los países desarrollados la utilización generalizada de combustibles fósiles ha desplazado a los combustibles derivados de la madera, que ahora ocupan una posición secundaria en el suministro total de energía. Pero, para unos 2,000 millones de personas que residen principalmente en las zonas rurales de los países en desarrollo, la leña y el carbón vegetal, junto con los residuos agrícolas, nunca han dejado de ser el combustible, cuando no el único a su disposición. La situación general con respecto a la energía ha hecho que se preste atención a la crisis de la leña que se está produciendo en grandes zonas rurales de los países en desarrollo, no como consecuencia de la escasez creciente de otras fuentes de energía, sino debido a que poblaciones cada vez más numerosas dependen de los suministros de leña limitados que se utilizan como un producto tradicionalmente gratuito. Cuando los suministros de leña resultan insuficientes, se recurre a los residuos agrícolas y el estiércol animal como segundo combustible gratuito; cuando esos combustibles tradicionales también escasean las necesidades básicas de energía para la supervisión no se satisfacen.

La leña es habitualmente el combustible preferido de la población rural, porque se encuentra en la localidad y porque para su extracción y utilización no se necesita equipo complejo o costoso. Tradicionalmente, la producción y la utilización de la leña están integradas en alto grado en la estructura social de -

las comunidades rurales, y la leña es muy adecuada para los sistemas descentralizados de energía rural. La leña ofrece claras ventajas por ser una fuente de energía renovable, que se puede mantener y que, por lo general, es aceptable desde el punto de vista social y del medio ambiente. Sin embargo, la tala excesiva de los árboles para leña puede tenerse graves consecuencias sobre los recursos naturales y, por consiguiente, respecto de la importante función de protección que cumplen los árboles.

Se crece, en general, de información suficiente sobre la utilización de los residuos agrícolas y animales como combustible. Solo en unos pocos países se han llevado a cabo análisis minuciosos del consumo de energía en las zonas rurales y de la proporción de ésta que se derive de los residuos agrícolas. Aunque no se pueden trazar pautas generales, se sabe que esta fuente de energía tiene particular importancia en algunos países de Asia, especialmente en la India, Bangladesh, el Pakistán y Nepal. En la India, donde los residuos agrícolas y el estiércol se utilizan aproximadamente tanto como la leña como fuentes de energía, estos combustibles tradicionales, en conjunto, proporcionan casi la mitad de la energía total consumida.

La situación en los países desarrollados.

La energía proveniente de la madera sólo produce entre el 1 por ciento y el 2 por ciento de la energía total consumida en los países desarrollados en conjunto. Esta proporción varía desde=

niveles insignificantes en los países urbanizados que tienen pocos bosques hasta el 5 por ciento o más en los países que poseen amplios recursos forestales. Se ha calculado que más del 8 por ciento de la energía primaria consumida en Suecia proviene de la madera (esa cifra comprende los líquidos residuales que se consumen como fuente de energía para la fabricación de pasta de madera)

Los principales usuarios de la energía de la madera en los países desarrollados son los habitantes de las zonas rurales y las industrias forestales. Los primeros suelen ser ellos mismos dueños de los bosques o tienen fácil acceso a los suministros de leña. La leña se utiliza generalmente para calefaccionar ambientes y calentar agua, como parte de una combinación de fuentes de energía en la que interviene, por ejemplo, la electricidad. Las industrias forestales son importantes productores y usuarios de madera para generar energía. En América del Norte, el 80 por ciento de la energía producida por la madera se emplea en las industrias forestales, mientras que en Europa la proporción correspondiente es del 44 por ciento. Básicamente, las industrias consumen los residuos de sus propios procesos de producción para satisfacer, al menos en parte, sus necesidades de energía. Varios sectores de la industria forestal, especialmente los aserraderos, las fábricas de madera contrachapada y las industrias de producción de pasta por medios químicos, podrían ser autosuficientes en materia de energía o "exportadores netos" de energía, pero este potencial rara vez se hace

efectivo.

A mediano plazo, las perspectivas indican que se producirá un aumento en la contribución de la madera al suministro de energía en los países desarrollados. Sin embargo, los recursos forestales resultan escasos en comparación con la inmensa demanda total de energía y por ello no es probable que la madera represente una fuente importante de energía, salvo tal vez en algunos países o zonas donde la relación entre los recursos forestales y la demanda de energía es particularmente favorable. En el futuro inmediato, la pauta de consumo ha de ser semejante a la actual: la madera de calidad inferior, sin elaborar, en astilla o posiblemente prensada, se quemará para producir calor o vapor para los habitantes de las zonas rurales (en hogares individuales o en unidades más grandes como escuelas u hospitales) o para las industrias forestales. A más largo plazo, las plantaciones de especies de crecimiento rápido destinadas a la producción de energía y los combustibles en forma líquida o gaseosa derivados de la madera también podrían desempeñar un papel importante en algunos países; en la actualidad estas opciones son objeto de intensas investigaciones.

La situación en los países en desarrollo.

Según informes, el consumo medio <sup>e</sup> per cápita de leña y carbón vegetal en las regiones en desarrollo es de 0.5 metros cúbicos al año (lo cual equivale a 4.3 gigajoules) aunque las ci-

frases varían mucho de un país a otro y dentro de cada país. En el grupo de los países menos adelantados, la leña y el carbón vegetal son la fuente de energía que predomina por un amplio margen, y proporcionan aproximadamente las cuatro quintas partes de la energía consumida. La dependencia de los combustibles derivados de la madera es especialmente alta en algunos países de África. En algunos países, como el Brasil y la Argentina, emplean grandes volúmenes de leña y carbón vegetal en industrias en gran escala.

Las cifras relativas al consumo de leña en muchos países se basan en cálculos aproximados. Dado que la mayor parte de la leña se recolecta y se utiliza localmente y no se requiere mediante un sistema de mercado, generalmente no se tiene en cuenta en las estadísticas oficiales sobre la energía. Las estadísticas de la silvicultura por lo general proporcionan información únicamente sobre los suministros de madera que se recolectan oficialmente en las reservas forestales; incluyen los suministros que provienen de los árboles en campo abierto, los huertos de las propiedades agrícolas, etc., y de las zonas que no se consideran bosques. En consecuencia, las estadísticas oficiales sobre leña y carbón vegetal generalmente sólo ofrecen una indicación parcial de la importancia de la leña.

Puesto que el precio del transporte de la leña a grandes distancias rara vez se justifica desde el punto de vista

económico, el equilibrio entre el consumo y los suministros generalmente se determina en el plano local. Por ese motivo, las estadísticas nacionales pueden no reflejar fielmente las situaciones de escasez local y es necesario desplegar esfuerzos para detectar y vigilar adecuadamente los desequilibrios incipientes.

La leña y el carbón vegetal desempeñan un papel esencial como energía doméstica en millones de hogares del mundo en desarrollo. En las condiciones climáticas de la mayor parte de los países tropicales, la leña se consume principalmente para la cocción de los alimentos, que es esencial para la subsistencia de la mayor parte de la población que prácticamente no tiene acceso a otras formas de energía. La leña ha sido el combustible doméstico preferido de la población rural por ser un producto gratuito cuya obtención o empleo no exigen equipo caro y complicado. Las necesidades domésticas de energía para cocer los alimentos y calentar el agua oscilan aproximadamente entre 6 gigajoules y 10 gigajoules por persona al año; o sea, entre 0.5 y 1.0 metros cúbicos de leña. Estas necesidades varían considerablemente de acuerdo con las condiciones climáticas y las costumbres alimentarias. Si se incluye la calefacción ambiental, las necesidades totales de energía doméstica varían más aun, y llegan a 25 y a 30 gigajoules per cápita al año en los climas montañosos fríos. Las variaciones estacionales, las especies forestales, el contenido de humedad y la disponibilidad modifican sustancialmente los niveles

consumo efectivos.

Diversas industrias rurales, como la fabricación de ladrillos, las caleras, la herrería, la alfarería, los secaderos de café y de tabaco, utilizan frecuentemente leña y carbón vegetal como fuente de calor. En algunos países, el empleo de combustibles de leña en las industrias de elaboración y en las industrias rurales alcanza un volumen considerable y puede provocar grandes concentraciones de la demanda. Las tecnologías utilizadas actualmente en las pequeñas industrias rurales y de aldea producen tales de consumo de combustible relativamente elevadas, que normalmente se pueden reducir con facilidad mediante procesos más eficientes. En las zonas rurales en particular, la creciente escasez relativa de energía puede estimular el interés en el uso de la leña y del carbón vegetal y de otros combustibles procedentes de la biomasa para satisfacer las necesidades industriales.

En muchos países, la utilización de combustibles de leña en las zonas urbanas representa una parte importante y cada vez mayor del consumo total de esos combustibles. Los habitantes de zonas rurales que emigran y se incorporan a la población pobre de las zonas urbanas siguen dependiendo de la leña para cocinar y calentarse. La leña suele ser reemplazada por el carbón vegetal, combustible más cómodo y más eficiente en cuanto al uso de energía, pero que a la vez generalmente se produce mediante un proceso que entraña desperdicio de energía. La concentración de



la demanda en las zonas urbanas impone grandes presiones sobre el suministro de las zonas rurales circundantes y a menudo da lugar a la destrucción completa de la vegetación boscosa. El suministro comercial de combustibles de leña a los centros de demanda urbanos impide que la producción se utilice en las zonas rurales lo que puede tener graves consecuencias para los pobres de las zonas rurales, pues amenaza su acceso a los suministros de energía esenciales.

Para producir carbón vegetal combustible que se transporta, almacena y distribuye más fácilmente, se necesita gran cantidad de leña. Los sistemas tradicionales de producción de carbón tienen una eficiencia media de uso de energía baja, que llega a aproximadamente a un 20 por ciento; el contenido energético del carbón vegetal varía mucho, pero la producción media de energía por unidad de peso es el doble que la de leña. Por eso, desde el punto de vista de la economía, resulta posible transportar el carbón vegetal a distancias mayores que la leña. Las cocinas tradicionales del carbón vegetal son normalmente dos o tres veces más eficientes que las cocinas de leña y por lo general se prefiere el carbón vegetal, especialmente en las zonas urbanas, porque es fácil de almacenar y de usar.

Bajo la presión cada vez mayor del corte de árboles para combustible, el uso excesivo de los recursos forestales termina con su desaparición. La disminución de la vegetación natural

provoca un aumento de la fragilidad ecológica y la degradación de la base de recursos, la tierra y el agua, de que depende la agricultura. En las zonas montañosas, áridas o semiáridas, la desaparición de la vegetación boscosa provoca la desertificación, la erosión y el entarquinamiento. La utilización de residuos agrícolas o estiércol como combustible impide que las sustancias nutritivas de éstos vuelvan a la tierra y dificulta la restitución de la productividad. La pérdida de fertilidad puede ser muy aguda y rápida. La presión de las necesidades de energía básica puede provocar la degradación irreversible del medio ambiente hasta un punto en que deja de existir una base para la sustentación de la vida y del desarrollo, lo cual obliga a la población a trasladarse a otro lugar, con consecuencias socioeconómicas e incluso políticas que pueden ser trascendentales.

En 1980, el déficit de leña afecta a 833 millones de habitantes de zonas rurales y a 116 millones de residentes de zonas urbanas en lugares donde la población todavía puede satisfacer sus necesidades mínimas de energía, pero sólo mediante una recolección excesiva que impide mantener el suministro. En consecuencia, los recursos son insuficientes para atender a las necesidades actuales.

En Africa hay 146 millones de personas afectadas por esa situación de déficit, que viven principalmente en las zonas de sabanas de la región occidental, central y sudoriental. En

Africa del Norte y en el Medio Oriente, 70 millones de habitantes de zonas rurales viven en situaciones de déficit de leña. En Asia están afectadas 550 millones de personas que viven en zonas rurales y en pequeños centros urbanos, principalmente en las llanuras del Indo-Ganges del Asia central y en el Asia sudoriental. En América Latina, 82 millones de personas que habitan en zonas rurales viven en estas situaciones deficitarias, en su mayor parte en zonas semiáridas y áridas. De acuerdo con las tendencias actuales, esas situaciones empeorarán y se producirá la escasez aguda, que afectará a las poblaciones más numerosas del año 2000. En general existen posibilidades físicas de mejorar los suministros de leña especialmente en condiciones ecológicas más favorables, mediante la ordenación general e intensificada de los recursos existentes y de las plantaciones de aldeas y predios agrícolas. No obstante los recursos probablemente no permitan satisfacer las necesidades actuales de una población en aumento.

Las situaciones de déficit previsto son aquéllas en que en la actualidad la oferta es superior a la demanda pero en las cuales, si continuaran las tendencias actuales hacia el agotamiento de los recursos de leña, se producirán déficits para el año 2000. De acuerdo con la evolución de la situación, la población adicional que vivirá en condiciones deficitarias ascenderá a 1,0 millones de personas, de las cuales 800 millones residirán en zonas rurales. Más de la mitad de la población adicional que esta

en esas situaciones vivirá en Asia; se puede prever que en toda el Asia central y meridional la leña desempeñará un papel secundario hacia el año 2000 si las tendencias actuales continúan. Los suministros de leña podrían mantenerse si la ordenación de los recursos existentes se intensificara, se integrara estrechamente en las prácticas agrícolas y de utilización del suelo, y se complementara con plantaciones.

De acuerdo con las tendencias actuales, en el año 2000 habrá unos pocos países (siete de Asia, seis de Africa y nueve de América Latina continental) que dispondrán aún de suministros adecuados debido a la favorable disponibilidad de recursos en relación con el aumento de la población.

Tomado de: Informe del Grupo Técnico sobre leña y carbón vegetal sobre su segundo periodo de sesiones, Febrero 1981.

#### OTRAS FUENTES

La utilización de la energía oceánica ha constituido un desafío que durante siglos ha estimulado la imaginación y la inventiva de la humanidad. Hasta ahora, sin embargo, solamente ha sido posible extraer una cantidad, mínima de energía útil de esta abundante fuente renovable de energía. El progreso realizado en esta área ha ocurrido en tres campos básicos: la energía de las mareas, el gradiente térmico de los océanos y la energía derivada de las olas.

La energía de las mareas, como en el caso del viento y-

los recursos de agua, fue primeramente usada para la molienda de grano. El empleo de la energía de las mareas para generar electricidad es un fenómeno más reciente que data de los últimos 50 años. La energía de las mareas, a diferencia de la hidroelectricidad, no está sujeta a los efectos adversos de las sequías estacionales. Reguladas por la rotación de la Tierra y las fuerzas gravitacionales de la luna y el sol, las mareas son predecibles. Sin embargo, el potencial de generación máxima de los sistemas de mareas durante la marea alta. Rara vez coincide con los momentos de máxima demanda, por lo que se requiere de una cuidadosa planificación y adecuados sistemas de almacenamiento. El potencial de esta fuente energética se limita en la actualidad a unos cuantos estuarios y bahías en el mundo en donde las mareas altas son especialmente elevadas. Debido a estas restricciones en cuanto a emplazamiento, no se espera que las mareas realicen una contribución significativa a las necesidades globales de energía.

La energía térmica de esta fuente se deriva de la diferencia de temperatura entre la superficie y las aguas profundas de los océanos. La localización más importante de este recurso se encuentra, aproximadamente, en un área de 2,000 kilómetros de ancho alrededor del Ecuador, entre los Trópicos de Cáncer y de Capricornio, en donde el agua marina profunda (entre 750 y 1,000 metros) con frecuencia es de 15° a 25° más fría que el agua de la superficie. Las propuestas prácticas para establecer plantas que utilicen la energía del gradiente térmico de los océanos

caen dentro de dos categorías: el sistema de ciclo cerrado y de ciclo abierto.

En el sistema de ciclo cerrado un fluido como el amoníaco es convertido en vapor usando el calor de agua marina de la superficie. El amoníaco en forma de vapor hace funcionar a una turbina y un generador conectado a ésta produce electricidad. Al abandonar la turbina, el amoníaco vaporizado - o el fluido utilizado - es enfriado por el agua marina profunda, y nuevamente en estado líquido, es devuelto al vaporizador mediante una bomba de presión. Por su parte, el sistema de ciclo abierto consiste en agua caliente que se introduce en un vaporizador para después ser comprimida mediante una reducción en la presión. Luego de separar las gotas de agua y la sal, el vapor es enviado a través de una turbina de fase única que hace funcionar a un generador. El agua vaporizada es condensada ya sea en un condensador convencional o por medio de un rocío directo de agua fría.

Las olas resultan de la acción del viento el cual es, a su vez, producto de la energía solar. Si bien este recurso sólo recientemente se ha convertido en materia de investigación seria, cientos de máquinas para oleaje han sido diseñadas durante los últimos 200 años; sin embargo, el uso de estos aparatos está limitado, hoy en día, a pequeños sistemas (70 a 120 watts) para suministrar electricidad a boyas.

El desafío ingenieril que representa el aprovechamiento

de las olas es enorme, ya que requiere de un método económicament aceptable para utilizar solamente una fracción de la energía contenida en el movimiento del agua de los océanos. Es precisamente a causa de este costo tan elevado que no se espera que esta fuente de energía sea económicamente viable antes del año 2000, excepto si se producen desarrollos tecnológicos dramáticos.

La energía derivada de los cursos de agua fue una de las primeras fuentes utilizadas ampliamente por el hombre. En el siglo XIX molinos de agua de varios tipos marcaron el ingreso de la humanidad en la era industrial. Para comienzos del siglo XX, el desarrollo de la hidroelectricidad ya se encontraba notablemente avanzado, representando en 1925 el 40 por ciento de la electricidad generada en el mundo. Desde entonces la capacidad de generación hidroeléctrica se ha multiplicado quince veces, pero su participación en el mercado mundial de electricidad ha disminuido hasta ser de alrededor de un 23 por ciento.

El potencial hidráulico frecuentemente se ve asociado con los ríos más caudalosos del mundo, pero también está disponible en otros sitios. Dado que se le mide tanto por el volumen de agua como por la distancia que ésta recorre en su caída, potencia hidráulico comparable al de los grandes ríos puede encontrarse en corrientes que se hallan en áreas montañosas en donde nacen cursos de agua. Desafortunadamente una buena parte del potencial de esta abundante fuente renovable de energía no es aprovechada. En tanto que los países industrializados, con cerca del 30 por ciento del

potencial hidráulico mundial, están produciendo y utilizando una cantidad considerable de su hidroelectricidad, los países en desarrollo están empleando una fracción notablemente menor.

En el mundo se dispone hoy en día de alrededor de 100 grandes plantas hidroeléctricas - con capacidades que exceden -- los 1,000 MW. Los efectos ambientales de la construcción de presas de tal magnitud, tanto en el sitio de emplazamiento como corriente abajo, y tanto de naturaleza biológica como socio-económica, han demostrado ser complejos y más numerosos que los producidos por las instalaciones de dimensiones más modestas, como sería el caso de las micro-plantas y las minicentrales hidroeléctricas. Las primeras comprenden instalaciones para la generación de electricidad que va de unos cuantos kilowatts hasta aproximadamente 200 kilowatts. La mini-generación se refiere a equipos -- e instalaciones que producen de 200 kilowatts a 5,000 kilowatts. El empleo de microplantas y mini-centrales hidroeléctricas ofrece una oportunidad singular para proporcionar energía eléctrica a comunidades aisladas, cuyo costo de conexión con la red nacional de distribución de energía eléctrica resulta prohibitivo. La obtención de los máximos rendimientos de la generación hidroeléctrica a pequeña escala se lograría si ésta fuese integrada a -- los esquemas de desarrollo rural de los distintos países. En vista de que la turbina podrá suministrar una cantidad determinada de corriente eléctrica las 24 horas del día, es esencial desarro



usos productivos para esta electricidad desde las primeras fases de un proyecto, sobre todo si se desea usar al máximo posible la producción potencial de la planta, particularmente durante los períodos en que la demanda se encuentra por debajo de los niveles pico. Todo ello implica la planificación de mejoras en la actividad agrícola local, en la agro-industria, en el funcionamiento de pequeños talleres de reparación y servicio, en el suministro de agua y en la irrigación, así como en los servicios comunitarios de salud y educación. Además de los beneficios sociales, esta planificación implica beneficios económicos considerables pues el equipo instalado es mejor utilizado, además de que una mayor generación y utilización de electricidad significa mayores economías de escala.

La búsqueda de recursos alternativos de energía ha llevado a investigar la factibilidad de la recuperación de petróleo a partir de fuentes no convencionales, entre las cuales destacan por su importancia los esquistos bituminosos y las arenas alquitranadas. Ambas producen petróleo como producto energético primario y las dos requieren de grandes inversiones de capital y del tratamiento de enormes volúmenes de materiales.

Los esquistos bituminosos son rocas sedimentarias que contienen materia orgánica sólida combustible. Para convertir a esta en petróleo es necesario aplicar calor a la masa de rocas; esto puede realizarse en el lugar en el que se encuentra el depósito.

dar usos productivos para esta electricidad desde las primeras fases de un proyecto, sobre todo si se desea usar al máximo posible la producción potencial de la planta, particularmente durante los períodos en que la demanda se encuentra por debajo de los niveles pico. Todo ello implica la planificación de mejoras en la actividad agrícola local, en la agro-industria, en el funcionamiento de pequeños talleres de reparación y servicio, en el suministro de agua y en la irrigación, así como en los servicios comunitarios de salud y educación. Además de los beneficios sociales, esta planificación implica beneficios económicos considerables pues el equipo instalado es mejor utilizado, además de que una mayor generación y utilización de electricidad significa mayores economías de escala.

La búsqueda de recursos alternativos de energía ha llevado a investigar la factibilidad de la recuperación de petróleo a partir de fuentes no convencionales, entre las cuales destacan por su importancia los esquistos bituminosos y las arenas alquitranadas. Ambas producen petróleo como producto energético primario y las dos requieren de grandes inversiones de capital y del tratamiento de enormes volúmenes de materiales.

Los esquistos bituminosos son rocas sedimentarias que contienen materia orgánica sólida combustible. Para convertir a esta en petróleo es necesario aplicar calor a la masa de rocas; esto puede realizarse en el lugar en el que se encuentra el depósi-

---

to de rocas o en el sitio en el cual éstas son reunidas luego de ser extraídas. Los depósitos de esquistos bituminosos se localizan en diversas regiones del mundo. Una de las más notables en cuanto a cantidad de masa depositada es Norteamérica; Australia, Africa, Asia, América del Sur y Europa también cuentan con este recurso aunque en cantidades menores.

Por arenas alquitrandas se entiende material arenoso arenisca, caliza o cualquier otra roca sedimentaria no consolidado y que contiene una sustancia viscosa que puede ser extraída mediante la aplicación de calor. La mayor parte de los depósitos de arenas alquitrandas se encuentra en zonas de deltas o en las cercanías de la costa. Los depósitos más grandes se hallan en Alberca, Canadá, en el cinturón del Orinoco venezolano, en los Estados Unidos de América y en la Unión Soviética. El único depósito de cierta importancia en un país en desarrollo corresponde al de Bemolong en Madagascar.

En términos geológicos la turba es carbón joven. Se trata de una mezcla de materia orgánica parcialmente descompuesta y minerales inorgánicos que se han acumulado en un ambiente saturado de agua. La turba se localiza en zonas pantanosas y en marismas de agua dulce en varias regiones del mundo. Durante miles de años se le ha utilizado como combustible, medicina y material de construcción.

Si bien no es una fuente renovable, la turba representa una alternativa energética realista en áreas remotas en donde la leña para cocinar o brindar calefacción resulta ser escasa. En muchos países la turba logra competir con el combustible y cada día logra serlo más. Una ventaja especial de la producción de turba frente a la de petróleo y carbón es el hecho de que los depósitos se localizan en la superficie, por lo que son relativamente fáciles de identificar y analizar.

Se estima que los recursos totales de esta fuente alcanzan la cifra de 10,000 millones de toneladas equivalentes, lo que representa cerca del 50 por ciento de los recursos conocidos de gas natural. La producción actual de turba constituye alrededor del 0.4 por ciento de la producción mundial de combustibles fósiles, y es en el mundo desarrollado en donde se concentra la mayor parte de la actividad productiva de este recurso.

La tracción animal ha sido una fuente vital de energía desde que el hombre domesticó a los animales. En muchos países en desarrollo esta fuente sigue siendo esencial. Se ha estimado que durante los próximos 20 a 30 años, cerca de 2,000 millones de personas utilizarán la energía derivada de la tracción animal, tanto como instrumento de producción como en el caso de millones de pequeños agricultores y como medio de transporte a pequeña escala para un elevado número de individuos en el mundo en desarrollo.

Los usos de la tracción animal abarcan desde la siembra y otras actividades agrícolas conexas, hasta el arrastre de vehículos.

los y el transporte de bienes y personas.

El papel de la tracción animal está siendo seriamente reevaluado en los círculos de planificación en el mundo en desarrollo. El modelo de mecanización rápida y amplia de las operaciones agrícolas que se desarrolló antes y después de la Segunda Guerra Mundial en los países occidentales, está siendo cuestionado hoy en día por varios países en desarrollo, especialmente en el contexto de los altos costos energéticos que implica la mecanización. El uso de la tracción animal ya no es visto como una fase transitoria en el desarrollo de una sociedad. En la actualidad se están explorando métodos para emplear más eficientemente este recurso, buscándose reducir el actual desperdicio del esfuerzo animal e incrementar la vida útil de los animales, la producción agrícola y el ingreso del propietario.

#### BIBLIOGRAFIA.

"Energéticos". Año 5, No7, Julio de 198.  
Boletín mensual publicado y editado por el Secretariado Técnico de la Comisión de Energéticos. de México.

CAPITULO IV

EVALUACION DE LOS RECURSOS ENERGETICOS DE MEXICO  
Y ANALISIS DE LAS OPCIONES ENERGETICAS.

Recursos energéticos de México.

Se expondrá en la primera parte de este capítulo aquello que es el conocimiento actual sobre los recursos energéticos de México. La mayor parte de la información se ha tomado del estudio "Perfil energético de México", que apareció en el número de agosto de 1979 de "energéticos", boletín informativo del sector energético publicado por la Comisión de Energéticos. Algunos datos, como las reservas petroleras, se han actualizado con información más reciente.

En la tabla 2 se proporcionan los datos sobre las reservas probadas de los distintos energéticos convencionales con que cuenta México y los recursos potenciales de los mismos, de acuerdo con la información más reciente.

El propósito de la tabla 2 es mostrar la situación actual de la información sobre los recursos energéticos convencionales con que cuenta el país para diversificar la oferta de energía primaria a corto y mediano plazo. Por esa razón no se incluye en la tabla estimaciones sobre las fuentes de energía llamadas no convencionales, principalmente la energía solar y la fusión nuclear, que pueden jugar un papel decisivo a largo plazo, durante el transcurso del siglo XXI, para substituir a los hidrocarburos.

en la mayor parte de sus utilizaciones energéticas, pero que en lo que queda del presente siglo tendrán todavía una participación muy reducida en el caso de la energía solar y nula en el de la fusión, en la oferta energética. Más adelante se analizarán brevemente las potencialidades de esas nuevas fuentes de energía.

Por lo que hace al uranio, los datos de la tabla 2 se refieren al empleo de reactores térmicos convencionales, sin realización del reprocesamiento del combustible irradiado. Como es bien sabido, estos tipos de reactores emplean el uranio muy ineficientemente, ya que utilizan como material fisionable el isótopo U235, del cual el uranio natural contiene únicamente 0.7%, estando el 99.3% restante constituido por U238, que no es fisionable. Como las reservas mundiales de uranio son limitadas, se considera que de continuarse empleando exclusivamente este tipo de reactores para la generación de energía eléctrica, el uranio se agotaría antes que el petróleo y la energía nuclear de fisión -- jugaría nada más un papel de energía de transición.

La introducción de los reactores de cría o de neutrones rápidos, actualmente en proceso de desarrollo en algunos países, permitiría utilizar casi toda la energía de fisión contenida en el uranio, multiplicando por un factor del orden de 70 el potencial energético de los recursos de uranio. En efecto, en los reactores de cría el combustible se compone de plutonio (que se obtiene al reprocesar el combustible irradiado de los reacto-

RECURSOS ENERGETICOS DE MEXICO

I. RECURSOS NO RENOVABLES  
(Cantidades recuperables)

RECURSO	TIPO DE INFORMACION	CANTIDAD	EQUIVALENTE TERMICO Kcal	CONSUMO EN 1980 Kcal
HIDROCARBUROS	Reservas probadas	72,000 x 10 <sup>6</sup> B	92,327 x 10 <sup>12</sup>	769.8 x 10 <sup>12</sup>
	Recursos potenciales	250,000 x 10 <sup>6</sup> B	320,578 x 10 <sup>12</sup>	
CARBON	Reservas probadas	1,400 x 10 <sup>6</sup> Ton	7,000 x 10 <sup>12</sup>	41.0 x 10 <sup>12</sup>
	Recursos potenciales	4,000 x 10 <sup>6</sup> Ton	20,000 x 10 <sup>12</sup>	
URANIO	Reservas probadas	10,000 Ton	725 x 10 <sup>12</sup>	0.0
	Recursos potenciales	225,000 Ton	16,313 x 10 <sup>12</sup>	
GEOTERMIA	Reservas probadas	86,899 GWH	267 x 10 <sup>12</sup>	2.8 x 10 <sup>12</sup>
	Recursos potenciales	411,860 GWH	1,266 x 10 <sup>12</sup>	

II. RECURSOS RENOVABLES

RECURSO	TIPO DE INFORMACION	ENERGIA ANUAL	EQUIVALENTE TERMICO Kcal/año	CONSUMO EN 1980 Kcal
HIDROELECTRICIDAD	Potencial identificado	171,866 GWH	528 x 10 <sup>12</sup>	51.3 x 10 <sup>12</sup>

EQUIVALENTES TERMICOS

1 Barril de petróleo equivalente  
1 Tonelada de carbón  
1 Kg. de uranio  
1 KWH hidroeléctrico

1,282,314 Kcal  
5,000,000 Kcal  
72,500,000 Kcal  
3,074 Kcal

Consumo total de energía  
primaria en 1980: 865.1 x 10<sup>12</sup> Kcal



res térmicos) y de uranio natural. Al mismo tiempo que consumen plutonio y producen calor, los reactores de cría convierten el isótopo U238, que constituye, como se dijo, el 99.3% del uranio natural y que no es fisionable, en plutonio, que si es fisionable y pueden diseñarse los reactores de manera que produzcan más plutonio a partir del U238 del que consumen, constituyendo así una fuente de calor que se aprovecha para generar electricidad y una fábrica de material fisil a partir del uranio natural.

En cuanto a la geotermia, los recursos potenciales iniciados en la tabla 2 se refieren a una estimación de la energía eléctrica que podrá obtenerse de los llamados sistemas hidrotérmicos de alta temperatura, que son los que se pueden explotar con la tecnología actualmente conocida para obtener vapor de características adecuadas para utilizarse en una planta generadora termoeléctrica.

Para dar una idea del desarrollo actual del aprovechamiento de la energía geotérmica en México y de sus perspectivas futuras, se cita a continuación una parte del informe del Grupo Técnico sobre Energía Geotérmica de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Fuentes de Energía Nuevas y Renovables:

"El desarrollo de la energía geotérmica en México ha tenido un fuerte impulso en los dos últimos decenios, en especial con la instalación de la planta geotérmica de Cerro Prieto, en el estado de Baja California Norte. Su capacidad actual es de 1500

MW. La generación de electricidad mediante energía geotérmica puede jugar un papel significativo en el desarrollo energético del país y contribuir al ahorro y a la sustitución de hidrocarburos, según se hace constar en el plan global energético del gobierno. Actualmente, está en proceso de construcción una ampliación en la planta de Cerro Prieto que consta de una unidad de 30 MW de baja presión. Se tiene programada otra de 620 MW para 1985.

Se estima que en esta zona, con una superficie de 1 estudiados con todo detalle, existen reservas de vapor suficientes para generar 7000 millones de kWh anuales durante 20 años que los recursos geotérmicos potenciales estimados en todo el país son del orden de 411 860 GWh, que a su vez se traducen en 49.4 millones de barriles anuales de petróleo.

Como puede observarse en la tabla 3, en 1980 México estaba entre los seis países más desarrollados en el campo de la energía geotérmica; de acuerdo con los programas energéticos nacionales, en el año 2000 será el segundo en importancia a nivel mundial en relación con la capacidad instalada obtenida de energía geotérmica".

En lo referente al carbón, de los 1 400 millones de toneladas de reservas probadas de carbón "todo uno", mil millones corresponden a carbón coquizable y se reservan para utilizarse en la industria siderúrgica. Los cuatrocientos millones de toneladas

CAPACIDAD INSTALADA DE ENERGIA ELECTRICA OBTENIDA DE  
ENERGIA GEOTERMICA EN MW

PAIS	1980	1985	1990	1995	2000
Estados Unidos	923	1 674	4 374	4 974	5 824
Filipinas	446	558	1 225	1 225+	1 225+
Italia	440	480	560	620	800
Nueva Zelandia	202	191	282	382	382+
Japón	168	1 000	3 668	3 668+	3 668+
México	150	620	1 000	2 000	4 000
Otros países*	133	278	1 158	1 478	1 745
T o t a l	2 462	4 801	12 267	14 347	17 644

- 112 -

+ Indica que la cifra es un valor mínimo

\* "Otros países", incluye a 11 países con capacidades instaladas muy bajas.

Fuente: Informe del Grupo Técnico sobre energía geotérmica de Naciones Unidas correspondiente a su segundo periodo de sesiones, 11 de diciembre de 1980,

restantes están constituidos por carbón no coquizable destinada a la generación de energía eléctrica. Puede verse en la tabla 2 los recursos de carbón de México, tanto en reservas probadas como en recursos potenciales son más importantes que los de uranio y estos se utilizan únicamente en reactores térmicos.

Los hidrocarburos constituyen los recursos energéticos no renovables más importantes de México. Hay que tener en cuenta, sin embargo, que los esfuerzos y recursos dedicados a su explotación han sido mucho mayores que los reales.

#### PROPUESTAS DE PROGRAMA DE ENERGIA PARA DIVERSIFICAR LA OFERTA ENERGETICA.

Petróleo y gas natural.- "La producción deberá cubrir la demanda interna, cualquiera que ésta sea, y generar un excedente exportable constante de 1.5 millones de barriles diarios de petróleo y 300 millones de pies cúbicos diarios de gas natural. Esto significa, dadas las proyecciones del Programa de Energía, que la extracción de petróleo crudo y líquidos del gas sería de 3.5 millones diarios en 1985 y de 4.1 millones en 1990. La de gas natural ascendería a 4300 millones y a 6900 millones de pies cúbicos diarios en esos años respectivamente" (equivalentes a 860 000 y 1380000 millones de barriles de petróleo crudo).

Por lo que hace a la exportación del petróleo el Programa de Energía fija las siguientes reglas:

1. Tratar de evitar la concentración de más del 50

las exportaciones mexicanas de hidrocarburos en un solo país.

2. Buscar mantener en menos del 20% la participación - de las exportaciones mexicanas en el total de las importaciones - de crudo y productos petrolíferos de cualquier país. Sólo en el - caso de las naciones de Centroamérica y el Caribe, se abastecerá hasta un 50% de sus necesidades de hidrocarburos.

Carbón.- De acuerdo con el Prog rama de Energía las re - servas probadas de carbón coquizable son actualmente de alrede-- dor de 1 500 millones de toneladas "in situ", equivalentes a más de 1 000 millones de carbón "todo uno".

En lo que se refiere a la utilización de este carbón - en la industria siderúrgica nacional, se considera que si la ex - pansi3n de la industria mantuviera las actuales proporciones en - tre los dos procesos utilizados: 70% para el alto horno con uti - lizaci3n de carb3n y 30% para la reducci3n directa usando gas na - tural, el consumo bruto de carb3n todo uno con destino siderúrgi - co aumentaría de 8.9 millones de toneladas en 1979 a 28.7 millo - nes en 1990. Las reservas probadas de carb3n coquizable permiti - rán satisfacer con holgura el vol3men requerido durante la vida - útil de las plantas que se construyan hasta 1990. Sin embargo, - será necesario asignar importantes recursos a ampliar la capaci - dad de producci3n en esta actividad minera.

Por lo que hace a la utilizaci3n del carb3n para la ge - neraci3n de energía eléctrica el Programa de Energía señala que-

las reservas probadas de carbón no coquizable, localizadas en la cuenca de Río Escondido, en el norte del estado de Coahuila, alcanzan un total de 600 millones de toneladas. Esta dotación ha permitido construir una primera planta carboeléctrica con capacidad de 1 200 MW que está próxima a entrar en servicio y se prevé la construcción de dos plantas más, de 1 400 MW cada una, durante los años ochenta. En 1990 estos 4 000 MW de capacidad de generación contribuirán con casi el 11% de la generación bruta de electricidad y permitirán sustituir cerca de 120 000 barriles diarios de combustóleo. "Las posibilidades a más largo plazo de esta fuente de energía están bajo estudio y dependerán, entre otros factores, de los resultados de la exploración que en materia de carbón se realice en el país".

Uranio.- El Programa de Energía reconoce que las actuales reservas probadas de uranio sólo alcanzan para la vida útil de la planta nucleoelectrica de Laguna Verde y la recuperación de uranio como subproducto del procesamiento de la roca fosfórica -- con que cuenta el país permitirá alimentar una planta adicional de 1 200 MW.

Se propone reforzar los programas de Uramex en materia de exploración de uranio en México. En cuanto al programa nucleoelectrico, anuncia que la primera unidad de Laguna Verde, con una capacidad de 654 MW entrará en servicio en 1983 y la segunda unidad, de la misma capacidad, en 1984. Señala que se instalará una-

unidad más que deberá estar en servicio antes de 1990, con lo que México contará en ese año con una capacidad nucleoelectrica instalada del orden de 2 500 MW, lo que implica que la nueva unidad nucleoelectrica será de una capacidad del orden de 1 200 MW eléctricos.

Además de las dos plantas nucleoelectricas que deberán estar en operación en 1990, se propone iniciar a partir de 1981 la selección de sitios y tecnologías para las unidades que empezarian a funcionar durante los años noventa. El objetivo planteado es que a finales de siglo se tengan instalados 20 000 MW de capacidad nuclear.

Energía hidroeléctrica.- El potencial hidroeléctrico -- identificado, de acuerdo al más reciente estudio de la Comisión Federal de Electricidad<sup>5</sup>, permitiría una generación media anual de 171 866 GWh, mediante el desarrollo de 541 aprovechamientos.

De este potencial, de acuerdo con el Programa de Energía, se estima posible desarrollar para 1990 la quinta parte, o sea una capacidad instalada capaz de generar 34 372 GWh/año y para el año 2000 las dos quintas partes, o sea una capacidad instalada capaz de generar 68 746/año. Como referencia, la generación hidroeléctrica en 1979 fue de 17 800 GWh con una capacidad instalada en plantas hidráulicas de 5 218 MW y la generación total de electricidad en el mismo año de 58 000 GWh, con una capacidad instalada total de generación de 12 297 MW. Se señala también que el

potencial hidroeléctrico teórico es bastante mayor que el identificado, lo que indica que hay todavía grandes posibilidades de -- ampliar el potencial identificado.

Energía geotérmica.- El Programa de Energía establece -- metas mínimas de aprovechamiento de este recurso, que consiste en llegar a 620 MW de capacidad en 1990 en lugar de los 150 MW en -- servicio en 1980.

Energía Solar.- El Programa de Energía señala que "la -- opción solar ha recibido recientemente gran atención en el mundo -- y se le dedican volúmenes crecientes de recursos. Su utilización -- en gran escala es, sin embargo, un evento del futuro. A corto y -- mediano plazos su aportación al balance energético será marginal. No obstante, puede ayudar a mejorar las condiciones de vida y de -- producción de comunidades no integradas al sistema eléctrico na-- cional. Asimismo, tiene aplicaciones domésticas de gran importan-- cia, como la llamada energía solar pasiva, consistente en diseñar los espacios habitacionales de manera que se aprovecha mejor este recurso. A más largo plazo, si los esfuerzos tecnológicos en este -- campo tienen éxito, dicha fuente contribuirá a sentar las bases -- para el desarrollo de sistemas eléctricos descentralizados que -- utilicen un recurso permanente, ampliando así la gama de opciones energéticas".



Costos estimados de generación eléctrica para nuevas plantas  
(pesos por KWh)\*

	Geo- térmica	Carbo- eléctrica	Hidro- eléctrica	Nucleo- eléctric	Termo- eléctrica a base de combustóleo
Total	0.31	0.47	0.48	0.52	0.69
Costo de inversión	0.25	0.18	0.44	0.32	0.12
Costo de explotación	0.12	0.07	0.04	0.05	0.04
Costo de combustible**	—	0.22	—	0.15	0.53

\* Precios de 1979

\*\* Comparación con base en precios internacionales de los combustibles

Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial

Los costos unitarios totales se calcularon con base en cifras a precios de 1979 considerando el valor de los combustibles en el mercado internacional. Para las estimaciones se seleccionaron las plantas más representativas por fuente energética primaria. Puede observarse que en los casos de la generación geotérmica, hidráulica y nuclear, el costo de inversión tiene el mayor peso relativo, mientras que en las termoeléctricas a base de carbón y de hidrocarburos predomina el de los combustibles. Sumando los distintos componentes, la fuente más económica es la geotérmica y la más costosa, la generación a partir de combustóleo. No hay gran diferencia en el caso de las tres fuentes restantes. Debido al alto valor de los hidrocarburos en el mercado internacional y a los usos alternativos que éstos tienen, conviene disminuir su participación en la generación eléctrica. En el futuro, a medida que su precio se eleve en términos reales, resultará cada vez menos atractivo para la economía utilizarlos para este propósito.

Propuesta del programa de energía para diversificar la demanda energética. A la luz de la información anterior sobre -- los recursos energéticos de México, dos aspectos llaman la atención en las propuestas del Programa de Energía para diversificar las fuentes de energía primaria: lo modesto del programa hidroeléctrico y lo ambicioso del programa nuclear.

Resulta sorprendente que no se proponga aprovechar al máximo el potencial hidroeléctrico del país en el plazo más breve posible y se proponga en cambio un programa nuclear importante, cuando, de acuerdo con la información del propio Programa de Energía, que se reproduce en la tabla 4, las plantas hidroeléctricas resultan más económicas que las nucleoelectricas, y, además, la mayor parte de la inversión en una planta hidroeléctrica se hace en moneda nacional, la ingeniería y la tecnología utilizadas en el proyecto y la construcción de ese tipo de plantas -- son casi totalmente nacionales, mientras que la dependencia tecnológica con respecto del extranjero en el caso de una planta nucleoelectrica es actualmente muy grande y por último las plantas hidroeléctricas utilizan un recurso energético renovable y constituyen un aprovechamiento indirecto de la energía solar. A continuación se analizan con más detalle estos aspectos.

La energía hidroeléctrica, recurso importante para diversificar la oferta energética.

El más reciente estudio sobre potencial hidroeléctrico

nacional fue realizado y publicado por la Comisión Federal de --  
Electricidad en 1978<sup>5</sup> y se ha publicado también en la revista --  
Ingeniería, órgano oficial de la Facultad de Ingeniería de la --  
UNAM, en su número 3 de 1980. Los resultados resumidos de ese --  
estudio aparecieron en el número de agosto de 1979 de Energéti--  
cos, boletín informativo del sector energético, que publica la -  
Comisión de Energéticos, Secretaría de Patrimonio y Fomento In--  
dustrial.

En la tabla 5, tomada de dicho estudio, se resume el -  
potencial hidroeléctrico identificado, agrupado por unidad fede--  
rativa. De acuerdo con dicha tabla, el desarrollo de todo el po--  
tencial hidroeléctrico actualmente identificado permitiría gene--  
rar anualmente 171 866 GWh, o sea el triple de la generación to--  
tal de energía eléctrica producida en 1979.

La relación entre el potencial hidroeléctrico identifi--  
cado y el teórico, para el total del territorio del país, es de  
0.39, lo que indica, como lo reconoce el Programa de Energía, --  
"que hay todavía grandes posibilidades hidroeléctricas", y que -  
el potencial hidroeléctrico puede aumentar en forma importante -  
a medida que se complete la información cartográfica, e hidromé--  
trica y las exploraciones de campo.

En el mapa de la figura 5 se indica la distribución es--  
pacial del potencial hidroeléctrico identificado, según cuencas--  
hidrográficas y la relación entre el potencial identificado y el

Núm.	E S T A D O	No. PROYS.	POT. MED. M. W.	G. MED. A. G. W. H.	% POTENCIA	% GENERACION
1.-	Coahuila	1	14	123	0.1	0.1
2.-	Colima.	3	42	368	0.2	0.2
3.-	Chiapas.	91	6,658	57,430	33.4	33.4
4.-	Chihuahua.	24	613	5,371	3.1	3.1
5.-	Durango.	20	701	6,144	3.6	3.6
6.-	Guerrero.	33	1,826	15,995	9.3	9.3
7.-	Guanajuato.	2	42	368	0.2	0.2
8.-	Hidalgo.	7	127	1,113	0.6	0.6
9.-	Jalisco.	31	763	6,684	3.9	3.9
10.-	México.	14	353	3,098	1.8	1.8
11.-	Michoacán.	30	768	6,728	3.9	3.9
12.-	Morelos.	2	66	578	0.3	0.3
13.-	Nayarit.	30	856	7,501	4.4	4.4
14.-	Nuevo León.	1	5	44	0.0	0.0
15.-	Oaxaca.	66	2,507	21,964	12.8	12.8
16.-	Puebla.	28	817	7,159	4.2	4.2
17.-	Querétaro.	4	137	1,200	0.7	0.7
18.-	San Luis Potosí.	21	447	3,918	2.3	2.3
19.-	Sinaloa.	24	527	4,617	2.7	2.7
20.-	Sonora.	15	414	3,628	2.1	2.1
21.-	Tabasco.	8	209	1,830	1.1	1.1
22.-	Tamaulipas.	10	95	833	0.5	0.5
23.-	Veracruz.	62	1,614	14,137	8.2	8.2
24.-	Zacatecas.	8	118	1,035	0.6	0.6
	<b>S U M A S</b>	<b>541</b>	<b>19,619</b>	<b>171,866</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>

CUADRO 6.- POTENCIAL HIDROELECTRICO IDENTIFICADO POR ENTIDAD FEDERATIVA.

-121-



30

Fig. 5

POTENCIAL HIDROELECTRICO IDENTIFICADO DE MEXICO  
 DICIEMBRE DE 1979.

	<u>POTENCIA</u>		<u>ENERGIA ANUAL</u>		<u>FACTOR DE PLANTA</u>
	MW	% del total	GWh	% del total	%
En operación	5219	14.5	17839	10.4	39.0
En construcción	2070	5.8	6855	4.0	37.8
En programa	1889	5.3	6452	3.7	39.0
Pendiente de desarrollar	<u>26716</u>	<u>74.4</u>	<u>140720</u>	<u>81.9</u>	60.0
T O T A L	35894	100.0	171866	100.0	

- 123 -

Fuente: Comisión Federal de Electricidad.

potencial bruto teórico, para cada cuenca.

En la tabla 6 se indica la capacidad en operación de plantas hidroeléctricas al 31 de diciembre de 1979, la generación hidroeléctrica durante ese año<sup>7</sup>, la capacidad de plantas hidroeléctricas en construcción y en programa y el potencial hidroeléctrico identificado pendiente de desarrollar en esa fecha.

Puede verse que la energía hidroeléctrica generada en 1979 representa únicamente el 10% de la que podría generarse si estuviese desarrollado todo el potencial hidroeléctrico actualmente identificado.

En la gráfica de la figura 6, tomada del estudio del potencial hidroeléctrico nacional realizado por la Comisión Federal de Electricidad, se muestra que en la hipótesis de un consumo de energía de 400 000 GWh en el año 2000, o sea casi siete veces mayor que el que se tuvo en 1979, la energía eléctrica proporcionada por las plantas hidroeléctricas podría representar el 43% del total, si para esa fecha se tuviese desarrollado todo el potencial hidroeléctrico actualmente identificado.

Lo anterior muestra que las plantas hidroeléctricas pueden jugar un papel muy importante en los próximos años en México para diversificar la oferta energética, puesto que el potencial hidroeléctrico pendiente de desarrollar es considerable y el costo del KWh producido en este tipo de plantas es menor que el producido en una planta nucleoelectrica o en una termoeléctrica convencional que use combustóleo a precio internacional, como

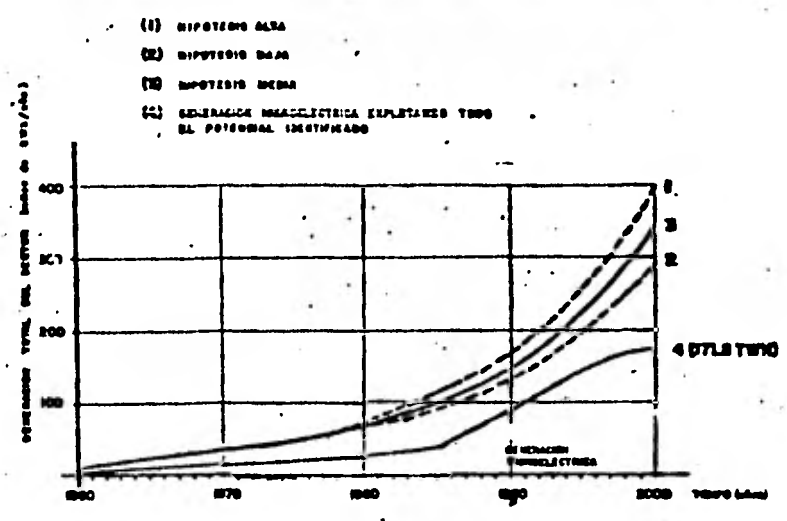


Fig. 6



puede verse en la tabla 4 antes citada.

Además, las plantas hidroeléctricas presentan las siguientes ventajas que generalmente no se toman en cuenta en las comparaciones económicas.

a) La energía hidráulica es un recurso renovable debido a la energía solar, que es la que produce el ciclo hidráulico. Su uso para generar electricidad permite ahorrar el consumo de recursos no renovables y prolongar así la disponibilidad de estos. Sin embargo los métodos de evaluación económica usualmente utilizados no toman en cuenta el hecho de que se trata de un recurso que no se agota y dura indefinidamente y al hacer la comparación con una planta generadora que utilice un recurso no renovable se limitan a comparar los costos de inversión y de operación (incluyendo el costo de combustible en el segundo caso). En realidad puede considerarse que el potencial hidroeléctrico no utilizado significa un desperdicio de energía análogo a, por ejemplo, la quema de gas natural en la atmósfera.

b) La larga vida de las instalaciones hidroeléctricas y los bajos costos de operación hacen que el costo de la energía generada sea muy poco afectado por la inflación, al contrario de lo que ocurre con las plantas termoeléctricas, donde el aumento de precio de los combustibles afecta en forma importante el costo de la energía generada.

c) La componente nacional en el costo de las plantas --

INTEGRACION DEL COSTO DE LAS OBRASVALORES MEDIOS

<u>C O N C E P T O S</u>		<u>PLANTAS TERMoeLECTRICAS CON SUBESTACION</u>	<u>PLANTAS HIDROELECTRICAS CON SUBESTACION</u>	<u>LINEAS DE TRANSMISION ALTA TENSION</u>	
		<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	
EQUIPOS Y MATERIALES	NACIONAL	15	10	60	
	IMPORTACION	40	25	10	
INGENIERIA Y DISEÑO	NACIONAL	2,5	1.95	1	
	IMPORTACION	0.5	0.05	0	
CONSTRUCCION Y MONTAJE	NACIONAL	37	60	28	- 127
	IMPORTACION	5	3	1	
		<u>100</u>	<u>100</u>	<u>100</u>	

EN ESTA DISTRIBUCION SOLO SE HAN INCLUIDO LOS COSTOS DIRECTOS, ES DECIR, NO COMPRENDE INDIRECTOS DE OFICINAS NACIONALES, NI LOS INTERESES DURANTE LA CONSTRUCCION.

hidroeléctricas es actualmente de más del 70% mientras que en las termoeléctricas es del orden del 55%, como puede verse en la tabla 7 preparada por la Gerencia General de Estudios e Ingeniería Preliminar de la Comisión Federal de Electricidad<sup>6</sup> en 1977.- Puesto que ya actualmente tanto la ingeniería y el diseño como la construcción y el montaje de estas plantas se realizan con recursos y tecnologías nacionales, la componente nacional del costo podría elevarse en breve plazo a prácticamente el 100%, si se desarrolla la fabricación en México de las turbinas hidráulicas y los generadores eléctricos correspondientes.

d) Los desarrollos hidroeléctricos constituyen frecuentemente una parte de un aprovechamiento hidráulico de usos múltiples, en cuyo caso los costos deben prorrogarse entre los diferentes usos. Esto es especialmente interesante con las condiciones hidrometeorológicas que se tienen en el territorio nacional - caracterizadas por una temporada de lluvias y una temporada de estiaje muy marcadas, ya que un desarrollo hidroeléctrico con capacidad de almacenamiento anual permite regular el gasto del río y obtener beneficios adicionales para la agricultura, mediante el riego y el control de avenidas.

e) Las plantas hidroeléctricas no son contaminantes, a diferencia de las termoeléctricas, y en general tienen una influencia positiva en la ecología de la región. Su construcción crea una fuente importante de empleo para la mano de obra local y contribuye a mejorar la infraestructura de la zona, mediante -

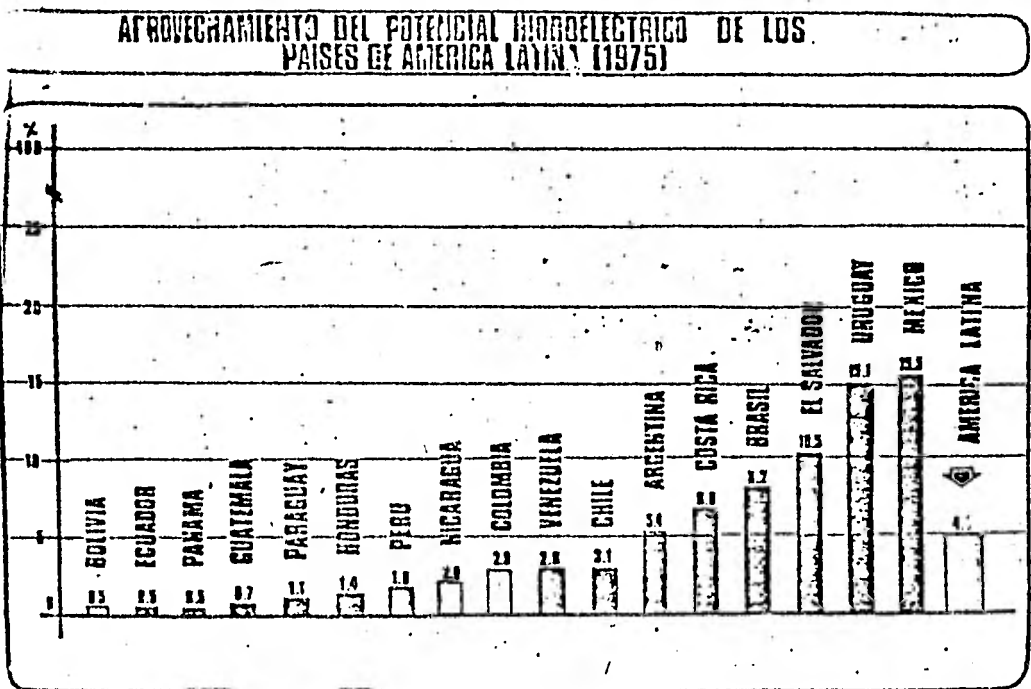


Fig. 7

la apertura de vías de comunicación, centros de población y, en ocasiones, desarrollos turísticos.

f) La flexibilidad de operación de las plantas hidroeléctricas las hace especialmente útiles en los grandes sistemas eléctricos interconectados.

g) Como ya se señaló antes, en México se ha alcanzado un alto nivel en la ingeniería de los desarrollos hidroeléctricos. Dado que el potencial hidroeléctrico pendiente de desarrollar en América Latina es aún considerable, este podría ser un campo propicio para la exportación de ingeniería y tecnología mexicanas. En la gráfica de la figura 7, tomada del trabajo presentado por el ingeniero Bernardo Quintana con motivo de su ingreso a la Academia Mexicana de Ingeniería<sup>7</sup> se indica el potencial hidroeléctrico aprovechando en 1975 en los países de América Latina en relación con el potencial hidroeléctrico económicamente aprovechable; puede verse en dicha gráfica que, para el conjunto de países de América Latina, sólo se aprovecha el 4.7% del potencial hidroeléctrico posible.

En conclusión, debería plantearse en el Programa de Energía la meta de desarrollar todo el potencial hidroeléctrico de México de aquí a fin de siglo. Como se ha señalado antes, la contribución de la energía hidroeléctrica a diversificar la oferta energética, disminuyendo así la dependencia con respecto de los hidrocarburos, podría ser considerable como lo serían también

los beneficios indirectos de un importante programa hidroeléctrico.

Inconvenientes de un programa nucleoelectrico de gran magnitud,

En cuanto al programa nucleoelectrico propuesto en el programa de Energia, ya me referí en otra ocasión a lo innecesario e inconveniente de arrancar de inmediato un programa de gran magnitud. Vuelvo ahora a exponer esas razones, refiriéndome a dos aspectos principales: costo y dependencia del extranjero.

Costo. Como se muestra en la tabla 4, antes citada, tomada del Programa de Energia, el costo estimado de generación de KWh en una planta nucleoelectrica es más elevado que el costo de KWh generado en una planta hidroeléctrica, carboeléctrica o geoelectrica y sólo es mayor el de una termoeléctrica convencional que utilice combustóleo a precio internacional.

Por otra parte, como puede verse en dicha tabla 4, el costo de inversión de una planta nucleoelectrica es elevado, sólo superado por el de una planta hidroeléctrica, pero con la importante diferencia a favor de ésta última de que, como ya se dijo, gran parte de la inversión en una planta hidroeléctrica se hace en moneda nacional, puesto que la mayor parte de los insumos necesarios son producidos en el país, mientras que en el caso de una nucleoelectrica la inversión necesaria requiere que el país desembolse divisas extranjeras, debido a que casi todo el equipo y la ingeniería del proyecto tienen actualmente que importarse.

En cuanto al costo de combustible, que representa en el caso de la nucleoelectrica, el 29% del costo del KWh, es, en el caso de la hidroelectrica, evidentemente igual a cero. Esto significa que el costo de generacion de una planta hidroelectrica practicamente no se vera afectado por la inflacion futura, mientras que el aumento futuro del precio del uranio si incidira en el costo de generacion de la planta nucleoelectrica.

Los datos anteriores demuestran que las plantas nucleoelectricas no resultan actualmente competitivas, en las condiciones de México, con otros medios de generacion disponibles.

Dependencia del extranjero. La instalacion de plantas nucleoelectricas en México, en las condiciones actuales de desarrollo del pais, produciria una gran dependencia con respecto al extranjero en tres aspectos: la ingenieria de proyectos, la compra de maquinaria y equipos y el ciclo de combustible.

En la tabla 7, antes mencionada, puede verse que la componente nacional en el costo de una planta termoelctrica convencional es del 55%. Para el caso de la planta nucleoelectrica de Laguna Verde, la componente nacional sera bastante inferior a la correspondiente a una termoelctrica convencional, posiblemente del orden del 12%.

Ademas sera relativamente facil aumentar considerablemente la participacion nacional en el caso de las plantas hidroelectricas, mediante la fabricacion en México de turbinas hidraulicas.

cas y generadores y en el caso de las termoeléctricas se fabrica-  
ya parte de las calderas y podría iniciarse la fabricación de tur-  
bogeneradores con capacidades hasta de 360 MW. En cambio será mu-  
cho más difícil y costoso fabricar equipo nuclear o los grandes-  
turbogeneradores (por lo menos de 600 MW) utilizados en las plan-  
tas nucleoelectricas.

Pero la dependencia más peligrosa se produciría en el -  
ciclo de combustible.

En primer lugar hay que señalar que el uranio para la -  
primera carga de la planta de Laguna Verde se compró en el extran-  
jero, a la empresa francesa FRAMEX y fue enriquecida en los Esta-  
dos Unidos.

En segundo lugar la situación internacional en el campo  
de la energía nuclear hace prácticamente imposible que se puedan-  
realizar en México, en un futuro previsible todas las fases del -  
ciclo de combustible. Este ciclo incluye el beneficio del mineral  
y la obtención de concentrados, la conversión en hexafluoruro de -  
uranio y el enriquecimiento del uranio en caso de que se utilice-  
en los reactores de uranio enriquecido, la fabricación de los ele-  
mentos combustibles de de óxido de uranio, enriquecido o no según  
el tipo de reactor a que esté destinado, el reprocesamiento del -  
combustible irradiado después de haber sido utilizado en los reac-  
tores, que permite recuperar óxido de uranio y obtener plutonio, -  
que pueden usarse de nuevo como combus tibles, yque produce dese-



chos radiactivos de muy larga vida que deben almacenarse en una forma segura.

En enero de 1976, los representantes de los siete principales países exportadores de tecnología nuclear: Estados Unidos, Canadá, la Unión Soviética, Francia, Inglaterra, Alemania Occidental y Japón, llegaron a un acuerdo en Londres para establecer las garantías que se exigirán a los países compradores de instalaciones nucleares para evitar que puedan utilizarse para fines militares. A este grupo se unieron posteriormente Suecia, Bélgica, Italia, Holanda, Polonia, Alemania Oriental y Checoslovaquia.

Lo anterior significa que un país, como México, que no cuenta con ese tipo de instalaciones, tendrá que depender indefinidamente de los países que controlan esas tecnologías para poder mantener en funcionamiento sus plantas nucleoelectricas.

Realizar en esas condiciones un programa nucleoelectrico importante en México significa hipotecar la independencia energética del país.

Afortunadamente el país cuenta con otras soluciones a corto y mediano plazo, que garantizan su independencia energética.

Por lo que hace al largo plazo, o sea más allá del año 2000, la energía nuclear puede ser una de las soluciones, pero -- para eso se requiere que se desarrollen los reactores rápidos o de cría, que utilizan plutonio y uranio natural, o la fusión nuclear, ya que con los actuales reactores térmicos de fisión, que-

usan muy ineficientemente el uranio, este energético, cuyas reservas mundiales son reducidas, se agotaría antes que el petróleo.

Con esta perspectiva del largo plazo se considera que es conveniente que México desarrolle prudentemente un programa nucleoelectrico mínimo, que podría consistir, por el momento, en instalar una segunda planta nucleoelectrica similar en tamaño a la de Laguna Verde, la cual entraría hacia 1990.

Esta segunda planta podría realizarse utilizando la tecnología canadiense de los reactores de uranio natural moderados con agua pesada, lo que elimina la necesidad de enriquecer el uranio. Además este tipo de reactores consume menos uranio que los de uranio enriquecido y agua ligera si en éstos no se realiza el reciclado del plutonio, cosa que en la situación internacional no se considera posible.

Este programa nuclear mínimo permitiría comparar en forma objetiva las tecnologías de uranio enriquecido y uranio natural y crearía las bases para poder desarrollar después de 1990 un programa nuclear más importante, en caso de que fuese necesario.

La disminución del programa nucleoelectrico propuesto en el Programa de Energía se compensaría básicamente aumentando el Programa de plantas hidroelectricas con el objetivo de desarrollar todo el potencial hidroelectrico del país durante los próximos veinte años.

Participación de las fuentes de energía no convencionales en la oferta energética.

Entre las fuentes no convencionales de energía deben citarse dos que podrían suministrarse cantidades ilimitadas de energía, si se resuelven los problemas científicos y tecnológicos para hacer posible su utilización en forma económica. Se trata de la energía solar y de la energía de fusión nuclear.

La energía solar tiene dos características que dificultan su aprovechamiento eficiente: la dispersión y la intermitencia. Aunque a largo plazo podrá llegarse a ser una fuente de energía muy importante, se considera que su desarrollo para convertirla en un sistema práctico y económico será lento. Los problemas principales actuales son los altos costos y la falta de un método de almacenamiento de energía adecuado.

La utilización de la energía solar puede realizarse por captación directa de la radiación solar para calefacción, o por construir la fuente caliente de un proceso de refrigeración por absorción y para la obtención de energía mecánica a través de un ciclo termodinámico utilizando un fluido adecuado. Puede también generarse energía eléctrica directamente mediante celdas fotovoltaicas.

Por otra parte puede utilizarse la energía solar a través de fuentes indirectas como el viento, la energía de las olas, el gradiente térmico de los océanos en las regiones tropicales y

utilización de materiales orgánicos para la producción de combustibles. La energía hidroeléctrica es también una forma indirecta de aprovechar la energía solar, la más económica conocida. ~~En~~ comparación con los otros métodos directos o indirectos.

México, por su situación geográfica y por las características climatológicas de la mayor parte de su territorio, presenta condiciones privilegiadas para el aprovechamiento de la energía solar. Las aplicaciones más prometedoras a corto plazo corresponden al calentamiento de agua, lo que permitiría ahorros substanciales en el consumo de gas doméstico.

Es poco conocido que existen en México más de 25 fabricantes de calentadores de agua solares, la mayor parte en Guadalajara, donde el más antiguo los fabrica desde 1942 pero también en Cuernavaca donde se fabrican principalmente para el calentamiento de albercas, en la ciudad de México, en Mexicali y en algunos otros lugares. Estos héroes ignorados de la innovación tecnológica han desarrollado esta industria a un nivel artesanal -- sin ningún apoyo ni estímulo.

También se realiza en México investigación para utilizar la energía solar para refrigeración y para fabricar y mejorar las celdas fotovoltaicas.

Es sin duda en el campo de la energía solar donde puede desarrollarse en México una actividad de investigación mayor y más fructífera, tanto por las condiciones de insolación de su-

---

territorio como porque se trata de un tipo de investigación que no requiere instalaciones muy costosas y que tiende al desarrollo de una tecnología relativamente sencilla.

La obtención de energía mediante la fusión nuclear -- consiste en la unión de núcleos de átomos ligeros para formular núcleos más pesados, lo que va acompañado de liberación de grandes cantidades de energía. Para lograr esto, los núcleos ligeros en la forma de un plasma deben confinarse a altas densidades y temperaturas durante un periodo suficiente para obtener la fusión.

La investigación y el desarrollo para tratar de demostrar experimentalmente la realización de la fusión nuclear sostenida se realiza actualmente siguiendo dos procedimientos diferentes.

El primero consiste en el estudio de varios sistemas de confinamiento magnético de plasma. El sistema más prometedor actualmente es el llamado Tokamak, desarrollado inicialmente en la Unión Soviética.

El segundo procedimiento consiste en la investigación de la factibilidad de iniciar la fusión nuclear mediante un láser de alta energía y usando confinamientos inerciales. Los primeros resultados de carácter preliminar se obtuvieron en Estados Unidos en 1974.

Hay que señalar que la investigación para obtener --

energía mediante la fusión nuclear no ha alcanzado hasta la fecha un avance comparable al que alcanzó Fermi en 1940, al demostrar la factibilidad de una reacción de fisión sostenida.

Los pronósticos más optimistas indican que podría tenerse en operación una planta de demostración de la fusión nuclear, a escala industrial, en los primeros años del próximo siglo.

Otra fuente importante de energía podría ser la geotermia. Sin embargo, con la tecnología actualmente conocida, la explotación de la energía geotérmica se limita a reservorios constituidos por una fuente de calor de origen magmático, una formación geológica porosa impregnada de agua y un sello superficial constituido por una capa de material impermeable. Estos son los llamados sistemas hidrotérmicos.

Existen otros dos tipos de formaciones que podrían constituir fuentes de energía importantes. Uno de ellos está constituida por rocas calientes secas. Para extraer la energía calorífica que contienen sería necesario fracturar artificialmente la roca, inyectar agua fría y obtener vapor de agua que podría utilizarse en una turbina de vapor para generar energía eléctrica.

La otra fuente de energía geotérmica está constituido por depósitos subterráneos de agua caliente a alta presión, que contiene metano disuelto, denominados de agua geopresurizada. Se tiene información de estas formaciones por perforaciones de po-

zos petroleros en las costas de Lousiana y Texas, que han revelado la existencia de depósitos subterráneos de agua caliente a profundidades de 4 000 a 6 000 metros que se encuentra a presiones - hasta de 7 00 Kg/cm<sup>2</sup> y temperaturas del orden de 130°C y saturada de gas natural.

Es de suponerse que esos depósitos deben extenderse por el territorio de México, a lo largo de las costas del Golfo. Su aprovechamiento suministraría cantidades considerables de gas natural y energía mecánica y térmica que podría utilizarse para la generación de electricidad.

Las propuestas del Programa de Energía para iniciar la utilización de las energías no convencionales son sumamente tímidas. A este respecto conviene reproducir las recomendaciones sobre este tema del pasado IX Congreso Nacional Bienal del Colegio de Ingenieros Mecánicos y Electricistas":

"En relación con el desarrollo de fuentes de energía -- no convencionales, se considera que no se ha dado sobre suficiente al desarrollo del aprovechamiento de la energía solar, que puede jugar en México, a largo plazo, un papel muy importante.

Aunque el Programa de Energía señala la conveniencia de apoyar algunas realizaciones en el medio rural, en localidades -- aisladas, cosa con la que se coincide plenamente, se considera -- que actualmente existen grandes posibilidades de desarrollar sistemas híbridos de aprovechamiento de la energía solar en zonas urbanas. La tecnología que está ahora disponible y es económicame

te competitiva es la del calentamiento de agua para usos domésticos e industriales. Sin embargo es necesario apoyar la penetración de esta tecnología en el mercado mediante estímulos fiscales y procedimientos de financiamiento adecuados.

Debe señalarse que en México existen varios fabricantes de calentadores solares desde hace años, que no han recibido ninguna clase de estímulo ni de apoyo.

También se señala la conveniencia de apoyar la investigación para el desarrollo de sistemas de energía solar aplicados a la refrigeración y el aire acondicionado".



REFERENCIAS.

1. Programa de Energía. Diario Oficial, 4 de febrero de 1981.
2. Beijdorff, A.F. and Stuerzinger, P. Improved energy efficiency: the invisible resource. World Energy Conference. Munich 1980.
3. Ferholm, T.R. Long range energy demand. Problems and perspectives. World Energy Conference. Munich, 1980.
4. Sterner, T. Consumo, producción y exportación de energía. Algunos problemas en el desarrollo de energéticos de México. Ponencia presentada en el IV Congreso Nacional de Economistas: Guadalajara, mayo de 1981.
5. Potencial hidroeléctrico nacional. Comisión Federal de Electricidad, México, 1978.
6. Fábregas, M. El programa de desarrollo del sector eléctrico. Proyección del sector de manufacturas. Comisión Federal de Electricidad. México, 1977.
7. Quintana, B. La integración y el aprovechamiento de los recursos hidroeléctricos de América Latina. Academia Mexicana de Ingeniería. México, 1979.
8. Viqueira, J. Análisis de las opciones energéticas de México. Representaciones y Servicios de Ingeniería, México, 1977.

### CONCLUSIONES

El flujo y balance de energía realizado por la Dirección General de Energía en 1980 para México, puede considerarse como una información más completa para cualquier estudio referente a energéticos, ya que involucra más conceptos que los tomados para los datos del Programa de Energía, publicado en 1980 por la Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial, tales como exportaciones, quema de gas natural, estimación de pérdidas y consumo propio, distinción entre carbón y coque.

### BIBLIOGRAFIA.

Energéticos. Boletín informativo del sector Energéticos, marzo - de 1978.

"Reflexión Critique Sur les bilans Energétiques". Patrice Romain Cahiers du CNRS, 1976.

"Oferta y demanda de energéticos, sus efectos económicos-sociales 1976-2000". Ponencia del Ing. Marcos Senado Mohar, presentada a la Séptima Asamblea Bienal del Consejo de Ingenieros Mecánicos y Electricistas. Septiembre de 1976.

México: BALANCES Y FLUJOS DE ENERGIA, 1980. Públicado por la dirección General de Energía de SEPAFIN.