

PROYECTO CEPAL/PNUMA  
ESTILOS DE DESARROLLO Y MEDIO  
AMBIENTE EN AMERICA LATINA

Seminario Regional

Santiago de Chile, 19 al 23 de noviembre de 1979

E/CEPAL/PROY.2/R.15  
Septiembre de 1979



PERSPECTIVAS DE LA ENERGIA SOLAR COMO SUSTITUTO DEL PETROLEO  
EN AMERICA LATINA HASTA EL AÑO 2000

El autor, señor Jorge Trénova, es funcionario de la División de Recursos Naturales y Medio Ambiente. Las opiniones expresadas en este estudio son de su exclusiva responsabilidad y pueden no coincidir con las de la organización a que pertenece.



INDICE

	<u>Página</u>
Introducción .....	1
Resumen y conclusiones .....	5
Sección I EL DESARROLLO DEL SECTOR ENERGETICO DE AMERICA LATINA EN EL PERIODO 1950-1976 .....	10
1. Consumo y producción de energía total ...	10
2. Los recursos energéticos .....	15
3. Desarrollo de los recursos energéticos ..	17
a) El petróleo .....	17
b) El gas natural .....	22
c) El carbón mineral .....	23
d) La energía eléctrica .....	24
4. Conclusiones .....	31
Sección II LA ENERGIA COMO FACTOR DE CONTAMINACION DEL MEDIO AMBIENTE .....	32
Sección III LA ENERGIA SOLAR .....	44
1. Aspectos generales .....	45
2. Características de la energía solar ....	45
3. Campos de aplicación de la energía solar	47
a) Calor .....	48
b) Energía eléctrica .....	48
c) Energía química .....	48
Sección IV PERSPECTIVAS DEL CONSUMO ENERGETICO HACIA EL AÑO 2000 .....	54
Sección V EVALUACION DE LA FACTIBILIDAD COMERCIAL DE ALGUNAS APLICACIONES DE LA ENERGIA SOLAR...	65
A. Tasa interna de retorno en instalaciones solares destinadas a obtener agua caliente a baja temperatura .....	68

B. Tasa interna de retorno para instalaciones solares destinadas a obtener agua caliente a temperaturas intermedias con fines industriales .....	72
--	----

C. Tasa interna de retorno para instalaciones solares destinadas a producir energía eléctrica por conversión termodinámica...	75
---	----

BIBLIOGRAFIA .....	79
--------------------	----

/;INTRODUCCION

## INTRODUCCION

Los recursos energéticos comerciales tradicionales (petróleo, gas natural, hidroelectricidad y carbón mineral) son abundantes en América Latina, como región, y han permitido mantener hasta la fecha una producción de energía superior al consumo. El uranio, recurso energético comercial incorporado en años recientes, ha sido prospectado en pocos países y sólo parcialmente, por lo que nada puede afirmarse aún sobre la magnitud de sus reservas a nivel regional.

Si bien abundantes en su conjunto, la distribución de estos recursos en los 27 países que conforman la zona es heterogénea, concentrándose considerablemente las reservas conocidas de petróleo y de gas natural en México y Venezuela y las de carbón mineral en México y Colombia. Sólo el potencial hidroeléctrico presenta una distribución más uniforme y disponen de él en forma relativamente abundante todos los países continentales.

Si se comparan a lo largo del período 1950-1976 las cifras de producción y consumo de energía por fuentes para el total de los países, se puede apreciar equilibrio en la hidroelectricidad (no hay exportaciones de electricidad fuera de la región) y un relativo equilibrio en el carbón mineral. No ocurre lo mismo en los casos del petróleo y del gas natural donde se observan considerables excedentes. En relación al primero, la región ha sido en efecto, en todo el período, exportadora neta de petróleo. En cambio, el gas natural sólo se produce en exceso porque generalmente se lo obtiene asociado al petróleo, pero sus excedentes no tienen mercado y son reinyectados a los pozos o quemados sin provecho.

Consecuencia de la concentración de los yacimientos petrolíferos, los saldos exportables de este combustible se originan en unos pocos países. En cambio, la gran mayoría no sólo no disponen de ellos, sino que deben importar una proporción importante o la totalidad del petróleo que consumen. A pesar de lo anterior, el petróleo constituye en toda la región la base del abastecimiento energético.

/El hecho

El hecho de que países bien dotados de recursos hidroeléctricos y, en algunos casos, de carbón mineral, adoptaran el petróleo para satisfacer el grueso de su consumo de energía, se explica porque la tecnología de su aprovechamiento proporcionaba casi siempre, con anterioridad al aumento de su precio en 1973, la alternativa más económica.

La adopción de esta tecnología significó para la mayoría de los países latinoamericanos, aceptar una dependencia total, o casi total, del petróleo importado. Ello no pareció constituir un obstáculo importante al desarrollo económico de la región, mientras el precio internacional de este combustible se mantuvo en cifras como las registradas con anterioridad a 1973. En el año inmediatamente anterior, por ejemplo, el valor de las importaciones netas de petróleo en los países deficitarios representó el 8% del valor de sus exportaciones totales. Pero en los años inmediatamente siguientes, ese porcentaje ya se había triplicado.

Para atenuar algunos efectos negativos del alza del petróleo, las autoridades del sector adoptaron diversas políticas. Una de ellas fue el desarrollo de fuentes locales de energía que pudieran ser utilizadas como alternativa del petróleo en algunos de sus usos. Al respecto, fuera de la hidroelectricidad, América Latina posee importantes recursos energéticos no convencionales. Por la ubicación de gran parte de su territorio en la zona tropical y sub-tropical, las cifras de radiación solar que recibe se encuentran entre las mayores del mundo y su distribución beneficia en forma relativamente pareja a todos los países. La energía del viento (eólica) es otro recurso de esta naturaleza que presenta características semejantes de abundancia y buena distribución. Se estima por otra parte, que toda la vertiente occidental del continente es rica en yacimientos geotérmicos. También, por razones económicas, estos recursos han permanecido prácticamente sin utilizar (fuera de su forma natural).

Hasta la fecha, sólo la hidroelectricidad ha permitido un mayor desarrollo porque ya disponía de tecnología adecuada la que, bajo las nuevas circunstancias, vio mejorada considerablemente sus perspectivas económicas. La utilización de las fuentes no convencionales, en cambio,

/se ha

se ha mantenido prácticamente invariable. Estas fuentes, dentro de las cuales la más importante es sin duda la energía solar, poseen principios conocidos y utilizados en pequeña escala desde muchos años, pero la investigación fue prácticamente dejada de lado con el advenimiento del petróleo y del gas natural ocurrido a fines del siglo pasado. Ello hizo más lento el desarrollo de su tecnología y al ocurrir el alza de precio de la energía convencional no estaba en condiciones de ofrecer alternativas económicas a prácticamente ninguno de sus usos. 1/

Junto al proceso de encarecimiento del petróleo se ha venido haciendo cada vez más crítico, en varias ciudades de importancia, el deterioro de sus condiciones ambientales originado en el uso masivo que sectores como el transporte, industrias y viviendas hacen de este combustible.

La importancia prioritaria que tiene en América Latina el consumo de los derivados del petróleo ha dado origen así a dos problemas importantes: uno económico por la mayor gravitación que está significando su consumo, entre otros, para la balanza de pagos y otro ambiental por la contaminación del aire en sus principales ciudades.

Es de interés, entonces, estudiar perspectivas de sustitución del consumo de derivados del petróleo por otras fuentes energéticas locales limpias. Descontando la hidroelectricidad cuya utilización es cada vez más intensa, la energía solar es la que presenta características más promisorias por los progresos que se están alcanzando en su investigación y por el volumen de energía que podría aportar su desarrollo.

---

1/ Debe señalarse el hecho de que durante el decenio de los años 60 el precio real del petróleo mostró incluso una tendencia declinante.

El objetivo de este trabajo será doble. Por una parte, se tratará de determinar la importancia que podrá tener el petróleo hacia fines del siglo en el abastecimiento energético de la región en base a las políticas y programas oficiales conocidos. Por otra parte, se analizarán las perspectivas de la energía solar como sustituto del petróleo en algunos de sus usos dentro del mismo período.

La metodología que se seguirá para alcanzar estos objetivos será la siguiente: primero, se hará un análisis estimativo de la evolución de la demanda de energía por fuentes abastecedoras hasta fines del presente siglo; segundo, se identificarán sectores consumidores de derivados donde se prevé pueden existir perspectivas técnicas comerciales de sustitución de éstos por energía solar; tercero, en base a los parámetros económicos actualmente vigentes se evaluará las posibilidades de utilizar la energía solar en esos sectores; cuarto, estableciendo hipótesis sobre variación de dichos parámetros se extraerán conclusiones sobre la forma cómo puede variar esta factibilidad hacia el año 2000. Con estos antecedentes se podrá evaluar la importancia que puede asignarse a la energía solar como sustituto del petróleo en lo que resta del presente siglo.

La distribución del trabajo será la siguiente:

En la sección I se analizarán brevemente los aspectos históricos del sector energía desde los años 50 hasta la fecha destacándose la dependencia de la región en relación al petróleo importado.

En la sección II se considerarán los aspectos generales de la alteración de las condiciones ambientales originados en el consumo de la energía, señalándose las fuentes de abastecimiento y los sectores consumidores que más contribuyen al deterioro ambiental.

En la sección III se describirán las características principales de la energía solar y de las instalaciones destinadas a su aprovechamiento de modo que sirva de antecedente a los capítulos siguientes del estudio.

/En la



En la sección IV se estudiará la evolución estimada de la demanda de energía hasta el año 2000 y se individualizarán sectores consumidores de derivados donde la energía solar pueda ofrecer posibilidades de sustituirlos.

Finalmente, en la sección V se analizarán concretamente las perspectivas comerciales de la utilización de la energía solar en aquellos sectores consumidores individualizados en el capítulo anterior.

#### RESUMEN Y CONCLUSIONES

El análisis del consumo de energía comercial en América Latina en el período 1950-1976 por fuentes de abastecimiento, muestra al petróleo como su componente más importante. La dependencia respecto de este combustible se originó a la vez en el desarrollo a nivel mundial de una tecnología muy perfeccionada de su utilización y muy económica en relación al uso de otras fuentes alternativas. La situación existente en 1973, año en que empezó a incrementarse fuertemente el precio del petróleo, era que 15 de los 27 países de la región debían importar la totalidad del petróleo consumido y otros 7 debían hacerlo en proporción más o menos importantes. De este modo, los saldos del comercio exterior de estos países fueron afectados considerablemente por esa alza y las autoridades del sector adoptaron políticas destinadas a buscar soluciones alternativas al petróleo, las que ahora veían notablemente mejoradas sus posibilidades de competencia con respecto a ese combustible. Se acentuaron así, por ejemplo, los programas de equipamiento eléctrico basados en un mayor uso del potencial hidroeléctrico, abundante en los países continentales. También se consideró más urgentemente la introducción de tecnologías nuevas en la región como la nuclear y la geotérmica las que, junto con la energía hidráulica deberán conducir a una reducción importante en el consumo de derivados para generar energía eléctrica. Brasil, que importa considerables volúmenes de petróleo ha puesto en marcha un plan masivo para incorporar alcohol a la gasolina. Otros países están considerando medidas semejantes.

/Coincidentemente con

Coincidentemente con esta situación de dificultades financieras, las autoridades sanitarias se encuentran preocupadas, en varios países, por los límites que está alcanzando la contaminación atmosférica, proceso que ocurre ya en numerosas ciudades y en magnitud tal que en algunas de ellas se sobrepasa con ciertas frecuencias los valores máximos aceptados como tolerables. Se estima que en la actualidad, un grupo de 87 ciudades latinoamericanas habitadas por unos 70 millones de personas 2/ sufren o están amenazadas de sufrir a corto plazo de los efectos de esta contaminación, donde el consumo de petróleo desempeña un papel protagónico.

Sin duda, la sustitución de parte del consumo de este combustible por otras fuentes locales limpias contribuiría a aliviar los efectos negativos señalados.

El estudio de proyección del consumo de energía comercial en el año 2000 mostró que, aunque la proporción que correspondería a los derivados del petróleo dentro de éste disminuiría desde su cifra actual (53%) ella continuaría siendo todavía considerable (43%). En cifras absolutas, el consumo de derivados del petróleo equivaldría en ese año a unos 520 millones de toneladas de petróleo equivalente contra 150 millones en 1976. La conclusión es, entonces, que los dos problemas que involucran el consumo de petróleo deberán acentuarse con el tiempo y, en este sentido, cualquier posibilidad de sustituirlo con fuentes locales no contaminantes tiene un considerable interés. Entre éstas ya se mencionó la energía hidráulica sobre la cual los programas de equipamiento eléctrico han puesto gran énfasis. Sin embargo, el continente latinoamericano está muy bien dotado de otro recurso energético limpio, la energía solar, y del cual se ha hecho escaso aprovechamiento tanto a nivel regional como mundial. El estudio de su tecnología ha sido retomado luego de que fue dejado de lado a fines

---

2/ Estimación basada en Informe 1967-1974, CEPIS, y Boletín Demográfico Nº 19, CELADE.

del siglo pasado con el advenimiento del petróleo. En general, las posibilidades de su utilización actual y futura no dependen tanto de su factibilidad técnica que es conocida, sino de su factibilidad comercial, la cual está determinada fundamentalmente por los nuevos precios del petróleo. En este trabajo se analizó esa factibilidad comercial para aquellas aplicaciones que se estimaron más prometedoras tanto por el conocimiento tecnológico que se tiene de ellas como por el volumen de energía que demandan. 3/

Se analizó el consumo de derivados del petróleo por sectores de consumo más importantes: transporte, industria, doméstico y generación de termoelectricidad. Se estimó que no existe en la actualidad alternativas económicas generales en base a la tecnología solar u otras para sustituir el uso de la gasolina, jet-fuel y gas/diesel-oil utilizados en el sector transporte y se consideró improbable su desarrollo e introducción en forma significativa en los próximos 20 años. 4/ El consumo estimado de estos derivados en el año 2000 es de 380 millones de t.e.p., o sea, aproximadamente las tres cuartas partes del consumo total de derivados previsto para ese año. Se consideró, sin embargo, que en los otros tres sectores mencionados, la sustitución no podría descartarse a priori. En efecto, en la producción de agua caliente a temperaturas moderadas (sobre la temperatura natural del agua y hasta 80°C) existe una tecnología bastante desarrollada y probada y que es ampliamente utilizable en los sectores doméstico e industrial. El estudio de la producción de agua caliente a temperaturas intermedias (entre unos 80°C y unos 200°C), utilizable en numerosas industrias, no se encuentra tan avanzado como el anterior, pero puede estarlo dentro de no muchos años. También se experimenta en la actualidad

---

3/ En este estudio resumido no se hicieron consideraciones respecto a la factibilidad económica nacional.

4/ Una alternativa restringida es el ya mencionado programa elaborado por Brasil para incorporar alcohol a la gasolina.

la aplicación de la energía solar a la producción de energía eléctrica y se estima que la tecnología de la conversión termodinámica podría estar suficientemente desarrollada y probada hacia el año 1990. De este modo, la evolución que adquieran el precio del petróleo por una parte y el costo de las instalaciones solares destinadas a sustituirlo, por otra, serán dos factores determinantes para la utilización económica de la energía solar.

En la evaluación comercial que se hizo para las aplicaciones señaladas, no se asignaron a los parámetros que intervienen valores correspondientes a lugares concretos, sino que se adoptaron aquellos valores óptimos ideales que favorecieran a la solución solar frente a la alternativa basada en el petróleo. Se consideraron así: una cifra bastante elevada de la radiación solar ( $5000 \text{ kcal/m}^2/\text{día}$ ) con valor constante a lo largo del año; óptimo rendimiento para la instalación solar; costo mínimo para la instalación solar dentro de su rango de variación actual y supuesto para el futuro por instituciones especializadas y, finalmente, de las diversas hipótesis formuladas por organismos que han estudiado el tema del crecimiento probable del precio del petróleo hasta el año 2000, se adoptó aquélla que postula un crecimiento máximo: duplicación de su precio en términos reales.

Se consideraron 3 tasas de interés real anual del dinero: 0.10, 0.15 y 0.20 que cubren aproximadamente la realidad latinoamericana en este aspecto. Los resultados obtenidos pueden resumirse en los siguientes puntos:

1. En la actualidad, la energía solar no es utilizable económicamente en ninguna de las aplicaciones consideradas bajo la vigencia de las hipótesis adoptadas.
2. Hacia el año 2000 estarían siendo económicamente factibles su utilización en esas aplicaciones, pero siempre que ocurran simultáneamente las condiciones de tasa de interés mínima (0.10%) y precio de los derivados máximo (US\$ 56 por millón de kilo calorías de keroseno y US\$ 30 por millón de kilo calorías de fuel-oil).

3. En relación a la utilización de la energía solar para producir electricidad utilizando la tecnología indicada, ello parece más viable sólo en aquellos países <sup>5/</sup> que carecen de recursos energéticos alternativos como la hidroelectricidad o la energía geotérmica y cuyos sistemas eléctricos no tienen la dimensión necesaria como para introducir en ellos las centrales nucleares. En el resto de los países, estas tres fuentes de energía aparecen, según el país, en condiciones económicas más ventajosas que la energía solar.

En resumen, teniendo en cuenta las condiciones simplificadas adoptadas, parecería improbable que el consumo de petróleo en América Latina durante los próximos 20 años fuese significativamente afectado por la introducción de la energía solar como alternativa comercial.

---

<sup>5/</sup> O regiones aisladas de países.

Sección I

EL DESARROLLO DEL SECTOR ENERGETICO DE AMERICA LATINA EN EL PERIODO 1950-1976

1. Consumo y producción de energía total

El consumo de energía comercial 1/ en la región alcanzó en 1976 al equivalente de 242 millones de tonealadas de petróleo y su tasa de crecimiento en el período, de 6.6%. El consumo de energía por habitante correspondiente equivale a 760 kg de petróleo, cifra que representa más de dos veces la del grupo de los otros países en desarrollo y menos de la quinta parte de la del grupo de países desarrollados. (Cuadro 1).

A lo largo de todo el período, América Latina dependió considerablemente del petróleo para satisfacer su consumo de energía y esta dependencia continúa en la actualidad. En estos países se produjo la sustitución del carbón por el petróleo con anterioridad a que ello ocurriera en el resto del mundo, o sea, antes de la década de los años cincuenta. El desarrollo industrial latinoamericano, que se acentuó con posterioridad a la segunda guerra mundial, se basó fundamentalmente en este combustible, al que se agregó más tarde el gas natural. En 1976, los hidrocarburos (derivados del petróleo y gas natural) satisficieron el 76% de las necesidades de energía comercial de la región. El resto lo fue principalmente por la electricidad (18%) y, en escala decreciente por el carbón, energía nuclear y energía geotérmica.

---

1/ Además de las fuentes comerciales de energía, todavía se recurre en forma importante a los combustibles vegetales, los más usados de los cuales son la leña, el carbón vegetal, el bagazo de la caña de azúcar y el alcohol. Se estima que en los años 1950 y 1976, el consumo regional de estos combustibles sobrepasó el equivalente de 29 y 42 millones de toneladas de petróleo, respectivamente, representando en cada año el 40% y el 15% del consumo total de energía.

Cuadro 1

MUNDO Y GRUPO DE PAISES SELECCIONADOS: CRECIMIENTO DEL CONSUMO DE ENERGIA COMERCIAL TOTAL Y POR HABITANTE, 1950-1976

	1950					1976					Tasa de crecimiento, 1950-1976 (porcentajes)		
	Consumo		Población		Consumo/ habitante	Consumo		Población		Consumo/ habitante	Consumo	Población	Consumo/ habitante
	10 <sup>6</sup> t.e.p.	Porcen- taje	10 <sup>6</sup> ha- bitante	Porcen- taje	k.e.p.	10 <sup>6</sup> t.e.p.	Porcen- taje	10 <sup>6</sup> ha- bitante	Porcen- taje	k.e.p.			
Países desarrollados	1 589	92.7	848	34.2	1 874	4 772	82.1	1 134	28.2	4 208	4.4	1.1	3.1
Países en desarrollo	125	7.3	1 632	65.8	77	1 043	17.9	2 886	71.8	361	8.5	2.2	6.1
América Latina	46	2.7	150	6.0	273	242	4.1	317	7.9	760	6.6	2.9	4.0
Otros	79	4.6	1 482	59.8	53	801	13.8	2 569	63.9	312	9.3	2.1	7.1
<u>Mundo</u>	<u>1 714</u>	<u>100.0</u>	<u>2 480</u>	<u>100.0</u>	<u>691</u>	<u>5 815</u>	<u>100.0</u>	<u>4 020</u>	<u>100.0</u>	<u>1 446</u>	<u>4.8</u>	<u>1.9</u>	<u>2.8</u>

Fuente: América Latina: CEPAL, sobre la base de informaciones oficiales; otros países: CEPAL, sobre la base de Naciones Unidas, World Energy Supplies, Serie J, NOS 19 y 20.

Nota: t.e.p. = tonelada equivalente de petróleo; k.e.p. = kilogramo equivalente de petróleo (10 700 kcal./kg).

a/ Estados Unidos, Canadá, Japón, Australia, Nueva Zelanda, Israel, Sudáfrica, Unión Soviética y países europeos.

b/ Argentina, Bahamas, Barbados, Bolivia, Brasil, Colombia, Costa Rica, Cuba, Chile, Ecuador, El Salvador, Granada, Guatemala, Guyana, Haití, Honduras, Jamaica, México, Nicaragua, Panamá, Paraguay, Perú, República Dominicana, Suriname, Trinidad y Tabago, Uruguay y Venezuela.

Las variaciones en las contribuciones de las distintas fuentes comerciales al abastecimiento energético a lo largo del período son las siguientes: las derivadas del petróleo y el carbón mineral registraron descensos desde el 67% hasta el 62% el primero, y desde el 13 al 5% el segundo. Estos descensos aparecen compensados con incrementos en la participación del gas natural del 7 al 14% y de la hidroelectricidad del 14 al 18%. A partir de 1974 se incorporaron como fuentes abastecedoras la energía nuclear y la energía geotérmica, pero con cifras de producción que no alcanzan todavía a ser significativas. (Cuadros 2 y 3).

La producción de energía comercial superó, a lo largo de los 27 años analizados, a su consumo, fundamentalmente como consecuencia de los excedentes de producción de petróleo en Venezuela y de los saldos no consumidos de la producción de gas natural en todos los países productores. Sin embargo, el coeficiente producción-consumo que creció desde la cifra 3.0 en 1950 a 3.6 en 1960 empieza a disminuir continuamente a partir de ese año hasta alcanzar el valor 1.5 en 1976 como consecuencia no sólo del aumento de la demanda sino además por la política de conservación de sus recursos petroleros establecida por Venezuela.

En relación a la diversificación en la producción de energía, Argentina, Brasil, Colombia, Chile, México y Venezuela produjeron en 1976 las cuatro principales formas de energía comercial: derivados del petróleo, gas natural, hidroelectricidad y carbón mineral; Bolivia, Cuba, Ecuador y Perú, las tres primeras; Barbados y Trinidad-Tabago sólo hidrocarburos y los países centroamericanos; Haití, Paraguay, República Dominicana, Suriname y Uruguay sólo hidroelectricidad; Bahamas, Grenada y Guyana no produjeron ningún tipo de energía primaria comercial.

/Cuadro 2



Cuadro 2

## AMERICA LATINA: PRODUCCION Y CONSUMO DE ENERGIA SEGUN FUENTES Y PAISES, 1950

(Miles de toneladas equivalentes de petróleo de 10 700 kcal/kg)

	Producción					Consumo						
	Carbón mineral	Petróleo crudo	Gas natural	Hidro-electricidad a/	Combustibles vegetales	Total	Carbón mineral	Derivados del petróleo	Gas natural	Hidro-electricidad a/	Combustibles vegetales	Total
<u>Países importadores de petróleo</u>												
Argentina	27	3 357	657	77	1 457	5 575	1 250	7 307	464	77	1 457	10 555
Bahamas	-	-	-	-	5	5	-	16	-	-	5	21
Barbados	-	-	2	-	126	128	-	21	-	-	126	147
Bolivia	-	80	-	110	536	726	7	122	-	110	536	775
Brasil	864	46	4	3 030	9 687	13 631	1 340	4 316	-	3 030	9 687	18 373
Costa Rica	-	-	-	74	162	236	-	96	-	74	162	332
Cuba	-	22	-	6	3 241	3 269	36	1 720	20	6	3 241	5 023
Chile	1 381	82	174	694	853	3 184	1 381	1 134	-	694	853	4 062
El Salvador	-	-	-	17	325	342	-	91	-	17	325	433
Grenada	-	-	-	-	13	13	-	2	-	-	13	15
Guatemala	-	-	-	35	524	559	-	247	-	35	524	806
Guyana	-	-	-	-	194	194	-	85	-	-	194	279
Haití	-	-	-	-	816	816	-	37	-	-	816	853
Honduras	-	-	-	3	256	259	-	145	-	3	256	404
Jamaica	-	-	-	21	345	366	-	82	-	21	345	448
Nicaragua	-	-	-	15	217	232	-	67	-	15	217	299
Panamá	-	-	-	2	114	116	-	182	-	2	114	298
Paraguay	-	-	-	-	263	263	-	11	-	-	263	274
República Dominicana	-	-	-	-	662	662	-	130	-	-	662	792
Suriname	-	-	-	-	35	35	-	67	-	-	35	102
Uruguay	-	-	-	222	121	343	80	734	-	222	121	1 157
<u>Subtotal</u>	<u>2 272</u>	<u>3 587</u>	<u>837</u>	<u>4 306</u>	<u>19 952</u>	<u>30 954</u>	<u>4 094</u>	<u>16 612</u>	<u>484</u>	<u>4 306</u>	<u>19 952</u>	<u>45 448</u>
<u>Países exportadores de petróleo</u>												
Colombia	720	4 699	1 044	362	2 299	9 124	710	931	180	362	2 299	4 482
Ecuador	-	347	115	30	657	1 149	-	230	-	30	657	917
México	590	10 572	1 611	821	4 217	17 811	660	7 337	1 144	821	4 217	14 179
Perú	74	2 006	712	299	1 424	4 515	40	1 097	4	299	1 424	2 864
Trinidad y Tabago	-	2 904	395	-	138	3 437	-	167	130	-	138	435
Venezuela	7	78 236	13 724	73	538	92 578	17	2 500	972	73	538	4 100
<u>Subtotal</u>	<u>1 391</u>	<u>98 764</u>	<u>17 601</u>	<u>1 585</u>	<u>9 273</u>	<u>128 614</u>	<u>1 427</u>	<u>12 262</u>	<u>2 430</u>	<u>1 585</u>	<u>9 273</u>	<u>26 977</u>
<u>Total América Latina</u>	<u>3 663</u>	<u>102 351</u>	<u>18 438</u>	<u>5 891</u>	<u>29 225</u>	<u>159 568</u>	<u>5 521</u>	<u>28 874</u>	<u>2 914</u>	<u>5 891</u>	<u>29 225</u>	<u>72 425</u>

Fuente: CEPAL, sobre la base de informaciones oficiales. Las cifras sobre producción y consumo de combustibles vegetales han sido estimadas en CEPAL. Las cifras sobre carbón y sobre energía comercial correspondientes a Bahamas, Barbados, Cuba, Granada, Guyana, Suriname y Trinidad y Tabago se obtuvieron de: United Nations, *World Energy Supplies, 1950-1974*.

a/ La energía hidroeléctrica fue expresada en unidades calóricas sobre la base del consumo de combustibles que, en promedio, utilizaron las centrales térmicas de la región para producir 1 kWh (4 500 kcal.).

Cuadro 3

## AMERICA LATINA: PRODUCCION Y CONSUMO DE ENERGIA SEGUN FUENTES Y PAISES, 1976

(Miles de toneladas de petróleo equivalente de 10 700 kcal/kg)

	Producción					Consumo						
	Carbón mineral	Petróleo crudo	Gas natural	Hidro-electricidad a/	Combustibles vegetales	Total	Carbón mineral	Derivados del petróleo	Gas natural	Hidro-electricidad a/	Combustibles vegetales	Total
<b>Países importadores de petróleo</b>												
Argentina	402	20 833	9 598	2 270	1 695	34 798	924	21 077	6 708	2 270	1 695	32 674
Bahamas	-	-	-	-	6	6	2	1 006	-	-	6	1 014
Barbados	-	14	3	-	64	81	-	154	3	-	64	221
Brasil	2 130	8 605	1 427	24 631	16 279	53 072	4 336	42 327	482	24 631	16 279	88 055
Colombia	2 368	7 298	2 906	3 126	2 753	18 451	2 365	6 626	1 523	3 126	2 753	16 393
Costa Rica	-	-	-	430	283	713	-	597	-	430	283	1 310
Cuba	-	144	19	16	3 809	3 988	77	7 487	18	16	3 809	11 407
Chile	826	1 091	5 845	1 864	565	10 191	901	4 114	1 114	1 864	565	8 558
El Salvador	-	-	-	129	546	675	-	642	-	129	546	1 317
Granada	-	-	-	-	15	15	-	13	-	-	15	28
Guatemala	-	-	-	91	1 170	1 261	-	929	-	91	1 170	2 190
Guyana	-	-	-	-	307	307	-	549	-	-	307	856
Haití	-	-	-	43	1 145	1 188	-	73	-	43	1 145	1 261
Honduras	-	-	-	129	496	625	-	450	-	129	496	1 075
Jamaica	-	-	-	43	380	423	1	2 595	-	43	380	3 019
Nicaragua	-	-	-	128	403	531	-	631	-	128	403	1 162
Panamá	-	-	-	41	192	233	-	1 022	-	41	192	1 255
Paraguay	-	-	-	159	450	609	-	345	-	159	450	954
Perú	-	3 735	1 763	1 753	1 716	8 967	120	5 760	1 044	1 753	1 716	10 393
República Dominicana	-	-	-	63	1 185	1 248	-	2 153	-	63	1 185	3 401
Suriname	-	-	-	352	70	422	17	573	-	352	70	1 012
Uruguay	-	-	-	364	101	465	17	1 720	-	364	101	2 202
<b>Subtotal</b>	<b>5 726</b>	<b>41 720</b>	<b>21 561</b>	<b>35 632</b>	<b>33 630</b>	<b>138 269</b>	<b>8 760</b>	<b>100 843</b>	<b>10 892</b>	<b>35 632</b>	<b>33 630</b>	<b>189 757</b>
<b>Países exportadores de petróleo</b>												
Bolivia	-	1 937	3 793	251	894	6 875	-	875	69	251	894	2 089
Ecuador	-	9 026	...	191	1 293	10 510	-	2 191	...	191	1 293	3 675
México	3 696	46 830	19 014	5 142	5 498	80 180	3 809	34 667	12 618	5 142	5 498	61 734
Trinidad y Tabago	-	10 575	1 475	-	147	12 197	-	1 572	1 475	-	147	3 194
Venezuela	58	120 166	32 307	2 966	764	156 261	215	9 962	9 845	2 966	764	23 752
<b>Subtotal</b>	<b>3 754</b>	<b>188 534</b>	<b>56 589</b>	<b>8 550</b>	<b>8 596</b>	<b>266 023</b>	<b>4 024</b>	<b>49 267</b>	<b>24 007</b>	<b>8 550</b>	<b>8 596</b>	<b>94 444</b>
<b>Total América Latina</b>	<b>9 480</b>	<b>230 254</b>	<b>78 150</b>	<b>44 182</b>	<b>42 226</b>	<b>404 292</b>	<b>12 784</b>	<b>150 110</b>	<b>34 899</b>	<b>44 182</b>	<b>42 226</b>	<b>284 201</b>

Fuente: CEPAL, sobre la base de informaciones oficiales. Las cifras sobre producción y consumo de combustibles vegetales han sido estimadas en CEPAL. Las cifras sobre carbón y sobre energía comercial correspondientes a Bahamas, Barbados, Cuba, Granada, Guyana, Suriname y Trinidad y Tabago se obtuvieron de: United Nations, *World Energy Supplies*, 1972-1976.

a/ En Argentina incluye energía eléctrica de origen nuclear y en El Salvador y México, de origen geotermal. Esta energía y la hidroelectricidad fueron dadas en unidades calóricas considerando el consumo de kilocalorías que, en promedio, utilizaron las centrales térmicas de la región para producir 1 kWh (3 200 kcal/kWh).

## 2. Los recursos energéticos

Las reservas probadas 2/ de petróleo y de gas natural a fines de 1976 eran estimadas en 4.700 millones de m<sup>3</sup> y 2.500 miles de millones de m<sup>3</sup>, respectivamente. (Cuadro 4). La distribución geográfica de estas reservas es irregular. En el caso del petróleo, el 90% de ellas se encuentran ubicadas en sólo 4 países: Venezuela (52%), México (24%), Argentina (8%) y Ecuador (6%). En el caso del gas natural, los mismos países acumulan el 80% con porcentajes del 46, 13, 8 y 13%, respectivamente.

Las características geológicas de algunas regiones de América Latina hacen suponer a algunos especialistas que en el subsuelo deben existir todavía acumulaciones muy considerables de hidrocarburos. Los recientes descubrimientos en México parecen confirmar esta hipótesis.

Por otra parte, los trabajos de prospección petrolera realizados hasta la fecha en la región son relativamente modestos. Esto, unido a lo anterior, hacen esperar que, conforme aumenten las labores de búsqueda de nuevos yacimientos, mejore la posición futura de varios países en relación a la existencia de estos combustibles.

Las reservas probadas de carbón mineral han sido estimadas en unos 6.000 millones de toneladas métricas ubicadas en 6 países: México (33%), Colombia (27%), Venezuela (14%), Chile (11%), Brasil (8%), Argentina (7%).

Las reservas conocidas de uranio, cuya prospección es relativamente reciente en América Latina, asciende a unas 75,000 toneladas con yacimientos principalmente en Argentina, Brasil y México que son los que mayor énfasis han puesto en su búsqueda, originado en sus programas de instalación de centrales eléctricas nucleares.

---

2/ Reservas probadas es la cantidad de petróleo (carbón, etc.) que se puede recuperar económicamente de un yacimiento con los métodos y procedimientos en aplicación en el momento del estudio.

Cuadro 4

AMERICA LATINA: RESERVAS PROBADAS DE COMBUSTIBLES FOSILES Y URANIO Y POTENCIAL  
HIDROELECTRICO INSTALABLE ECONOMICAMENTE, 1976

País	Petróleo (millones de m <sup>3</sup> )	Gas natural (mil millo- nes de m <sup>3</sup> )	Carbón mineral (millones de toneladas)	Uranio (toneladas)	Hidroelec- tricidad (miles de kW)
Argentina	365.7	192.6	450.0	41 800	44 800
Bahamas	-	-	-	-	...
Barbados	0.6	8.5	-	-	...
Bolivia	38.2	141.6	-	-	20 000
Brasil	127.2	25.5	507.0	26 400	150 000
Colombia	131.2	141.6	1 600.0	-	50 000
Costa Rica	-	-	-	-	8 600
Cuba	...	...	-	-	...
Chile	28.9	56.6	660.0	-	17 000
Ecuador	270.3	339.8	-	-	20 000
El Salvador	-	-	-	-	1 350
Granada	-	-	-	-	...
Guatemala	3.4	-	-	-	4 950 <sup>a/</sup>
Guyana	-	-	-	-	...
Haití	-	-	-	-	...
Honduras	-	-	-	-	3 800 <sup>b/</sup>
Jamaica	-	-	-	-	...
México	1 113.0	339.8	2 000.0	7 100	25 250
Nicaragua	-	-	-	-	3 290 <sup>b/</sup>
Panamá	-	-	-	-	1 850 <sup>b/</sup>
Paraguay	-	-	-	-	11 050 <sup>c/</sup>
Perú	118.8	62.3	15.0	-	30 000
República Dominicana	-	-	-	-	300
Suriname	-	-	-	-	...
Trinidad y Tabago	82.7	63.9	-	-	...
Uruguay	-	-	-	-	2 200
Venezuela	2 427.9	1 152.6	820.0	-	25 000
<u>Total</u>	<u>4 707.9</u>	<u>2 524.8</u>	<u>6 052.0</u>	<u>75 300</u>	<u>419 445</u>

Fuente: CEPAL, sobre la base de informaciones oficiales; The Oil and Gas Journal, 27 de diciembre de 1976; Organismo Internacional de Energía Atómica, vol. 20, Nº 1, febrero de 1978.

a/ Potencial técnicamente aprovechable con factor de planta igual a 1.

b/ Potencial técnicamente aprovechable.

c/ Evaluación incompleta.

d/ Incluidos sólo las centrales binacionales de Itaipú, Yaciretá y Corpus en su parte correspondiente a Paraguay y la central paraguaya Presidente Ströesner.

El potencial hidroeléctrico económicamente aprovechable, único recurso energético renovable de los señalados, no ha sido aún completamente identificado, pero se estima que supera los 420 millones de kW, cifra importante si se considera que la capacidad instalada en 1976 de este origen era de sólo 33 millones de kW. (Cuadro 4).

### 3. Desarrollo de los recursos energéticos

#### a) El petróleo

##### i) Producción y consumo

La producción regional de petróleo registra cifras permanentemente crecientes hasta 1970, año en que más que se duplica la cifra de la producción correspondiente a 1950 (274 y 102 millones de toneladas respectivamente). Sin embargo, en el período que sigue hasta 1975 se produce una contracción de la producción debida, en parte, a la ya mencionada política conservadora seguida por Venezuela y, en parte, al agotamiento de campos explotados en Argentina, Brasil, Colombia, y Chile. Sólo México y Ecuador muestran incrementos en su producción originados en nuevos campos puestos en explotación. Esta circunstancia, si bien permitió levantar la producción regional en 1976 y en 1977, no la llevó al nivel registrado en 1970.

Venezuela aparece como el principal productor aunque su importancia relativa es decreciente (76 y 52% al comienzo y final del período). México es el segundo productor, pero con cantidades bastante inferiores a Venezuela. Sin embargo, con los recientes hallazgos, en los últimos años empieza a escalar posiciones rápidamente. (Cuadros 2 y 3).

En los 27 años considerados, la producción de petróleo en la región supera constantemente a la demanda interna de derivados aun cuando la importancia de los saldos en relación a la producción se redujo notablemente.

Aunque el balance producción-consumo de petróleo es favorable a nivel regional, no lo es a nivel de países salvo contadas excepciones. Sólo en 5 países la producción ha superado permanentemente a la demanda: Venezuela, México, Trinidad-Tabago, Colombia y Bolivia (salvo breves períodos en México y Bolivia). Ecuador fue exportador de petróleo en

/los primeros

los primeros años de la década de los 50, luego perdió esta característica y sólo la recuperó en 1972.

Otros seis países: Argentina, Barbados, Brasil, Cuba, Chile y Perú producen en la actualidad este combustible, pero no en las cantidades suficientes para satisfacer sus respectivas demandas internas de derivados. La situación más desfavorable correspondió en 1976 a Cuba que abasteció con su producción interna sólo el 2% de la demanda. Le siguen Barbados, Brasil, Chile, Perú y Argentina que, en ese orden, lo hicieron con el 9, 20, 27, 65 y 99%. Perú es otro país en que los recientes hallazgos en la región amazónica le harán recuperar a corto plazo la condición de país exportador de petróleo que tenía a comienzos del período.

Los 15 países restantes no registran valores de producción de petróleo. Este grupo está constituido por países relativamente pequeños consumidores de petróleo (representaron el 7 y 9% del consumo regional en 1950 y 1976). Sin embargo, dada su dependencia total del petróleo importado, la implementación de políticas de sustitución del petróleo puede adquirir mayor urgencia.

ii) Exportación e importación de petróleo crudo y derivados

El volumen total de las exportaciones de petróleo crudo representó en todo el período porcentajes importantes de la producción, sobrepasando en la totalidad de los años al 40% de ésta. Venezuela se destaca por sus exportaciones de crudo, las cuales representaron el 91% de las exportaciones latinoamericanas totales de crudo en 1950 y el 73% en 1976. Otros exportadores en 1950 fueron Colombia y México y en 1976, Bolivia, Ecuador, México y Trinidad Tabago. (Cuadros 5 y 6).

La misma concentración observada en las exportaciones de petróleo se observa también en relación a los derivados combustibles del petróleo. Venezuela mantiene la posición de principal exportador, correspondiéndole en forma sostenida más del 60% de las exportaciones totales de derivados. Otros exportadores de derivados fueron México y Trinidad-Tabago en 1950, y en 1976 Bahamas, Colombia, Panamá y Trinidad-Tabago.

Cuadro 5

AMERICA LATINA: PRODUCCION, IMPORTACION Y EXPORTACION DE PETROLEO E IMPORTACION, EXPORTACION Y CONSUMO DE DERIVADOS COMBUSTIBLES DEL PETROLEO, 1950

(Miles de m<sup>3</sup>)

	Petróleo crudo			Derivados		
	Producción	Importación	Exportación	Importación	Exportación	Consumo
<u>Países importadores netos de petróleo y derivados</u>						
Argentina	3 730	3 559	-	2 703	-	8 408
Bahamas	-	-	-	26	-	22
Barbados	-	6	-	19	-	25
Bolivia	98	-	9	75	3	146
Brasil	54	13	-	4 978	-	5 127
Costa Rica	-	-	-	112	-	112
Cuba	22	269	-	1 660	-	1 940
Chile	100	-	77	1 348	-	1 296
El Salvador	-	-	-	107	-	107
Granada	-	-	-	2	-	2
Guatemala	-	-	-	280	-	280
Guyana	-	-	-	94	-	94
Haití	-	-	-	44	-	43
Honduras	-	-	-	162	-	162
Jamaica	-	-	-	216	-	216
Nicaragua	-	-	-	77	-	77
Panamá	-	-	-	212	-	212
Paraguay	-	-	-	27	-	27
República Dominicana	-	-	-	120	-	119
Suriname	-	-	-	75	-	75
Uruguay	-	864	-	44	-	849
<u>Subtotal</u>	<u>4 004</u>	<u>4 711</u>	<u>86</u>	<u>12 391</u>	<u>3</u>	<u>19 339</u>
<u>Países exportadores netos de petróleo y derivados</u>						
Colombia	5 401	-	4 495	244	-	1 107
Ecuador	418	-	149	8	-	274
México	11 747	-	1 864	347	1 034	8 453
Perú	2 369	-	445	44	706	1 275
Trinidad y Tabago	2 904	1 520	-	-	4 157	205
Venezuela	86 929	-	71 931	-	10 688a/	2 900a/
<u>Subtotal</u>	<u>109 788</u>	<u>1 520</u>	<u>78 884</u>	<u>643</u>	<u>16 585</u>	<u>14 214</u>
<u>Total América Latina</u>	<u>113 792</u>	<u>6 231</u>	<u>78 970</u>	<u>13 024</u>	<u>16 588</u>	<u>33 553</u>

Fuente: CEPAL, sobre la base de informaciones oficiales.

a/ No incluye 931 000 m<sup>3</sup> por venta a naves.

Cuadro 6

AMERICA LATINA: PRODUCCION, IMPORTACION Y EXPORTACION DE PETROLEO E IMPORTACION, EXPORTACION Y CONSUMO DE DERIVADOS COMBUSTIBLES DEL PETROLEO, 1976

(Miles de m<sup>3</sup>)

	Petróleo crudo			Derivados		Consumo
	Producción	Importación	Exportación	Importación	Exportación	
<u>Países importadores netos de petróleo y derivados.</u>						
Argentina	23 148	3 524	-	1 260	141	24 954
Bahamas	-	10 760	-	804	9 288	1 120
Barbados	23	147	-	438	-	601
Brasil	10 006	43 655	3 335	1 374	210	51 025
Colombia	8 388	1 069	-	438	1 394	8 187
Costa Rica	-	293	-	449	-	708
Cuba	251	6 663	-	2 338	-	8 382
Chile	1 331	4 016	-	-	154	5 210
El Salvador	-	571	-	4	-	738
Granada	-	-	-	620	-	620
Guatemala	-	825	-	526	-	1 127
Guyana	-	-	-	623	-	623
Haití	-	-	-	144	-	144
Honduras	-	441	-	26	16	517
Jamaica	-	1 422	-	1 275	151	2 390
Nicaragua	-	677	-	47	-	746
Panamá	-	3 201	-	360	2 068a/	1 213
Paraguay	-	256	-	105	-	414
Perú	4 446	2 694	317	490	123	6 830
República Dominicana	-	1 331	-	794	-	2 416
Suriname	-	-	-	595	-	595
Uruguay	-	2 031	-	173	-	2 023
<u>Subtotal</u>	<u>47 593</u>	<u>83 576</u>	<u>3 652</u>	<u>12 883</u>	<u>13 545</u>	<u>120 583</u>
<u>Países exportadores netos de petróleo y derivados</u>						
Bolivia	2 362	-	1 282	23	-	1 075
Ecuador	10 875	1 291	9 752	242	-	2 570
México	52 033	-	5 480	4 104	294	42 018
Trinidad y Tabago	12 350	13 720	8 847	88	12 654	1 681
Venezuela	133 518	-	79 743	-	40 920b/	12 412b/
<u>Subtotal</u>	<u>211 138</u>	<u>15 011</u>	<u>105 104</u>	<u>4 457</u>	<u>53 868</u>	<u>59 756</u>
<u>Total América Latina</u>	<u>258 731</u>	<u>98 587</u>	<u>108 756</u>	<u>17 340</u>	<u>67 413</u>	<u>180 339</u>

Fuente: CEPAL, sobre la base de informaciones oficiales.

a/ Incluye venta a naves (Bunker C.).

b/ No incluye 1 260 000 m<sup>3</sup> por venta a naves.



Frente al reducido grupo de países exportadores de petróleo crudo y derivados contrasta el numeroso grupo de países importadores de ellos. Las estadísticas del período muestran al respecto dos hechos destacados: primero, la proporción importante en que las importaciones de crudo y derivados satisfacen la demanda interna de derivados de los países deficitarios, 82% en 1950 y 66% en 1976; segundo, la evolución continua de las importaciones mayoritariamente constituidas por derivados en 1950 (78%) y mayoritariamente constituidas por petróleo crudo en 1976 (85). Ella se originó en el desarrollo alcanzado por la actividad refinadora de crudo en todos los países de la región a excepción de Grenada, Guyana, Haití y Suriname.

### iii) Consumo de derivados

A pesar de la concentración que muestra la producción de petróleo, el consumo de derivados creció de 33.6 millones de m<sup>3</sup> en 1950 a 180.3 millones en 1976. (Cuadros 5 y 6). La tasa de crecimiento acumulativo correspondiente a estas cifras es del 6.7% promedio anual. Se destacan por la magnitud de su consumo Argentina, Brasil, México y Venezuela cuyo volumen conjunto se mantuvo aproximadamente en el 73% del consumo total de derivados de América Latina. Un porcentaje también relativamente parejo del 16% le correspondió al grupo de países formado por Colombia, Cuba, Chile y Perú. El 11% restante se distribuye entre 19 países, cifra que revela lo comparativamente reducido de sus mercados consumidores.

En la estructura del consumo se observa a lo largo de estas dos décadas y media los siguientes hechos:

- un incremento creciente de la participación conjunta del consumo de gasolina y diesel-oil dentro del consumo total, la que varió desde el 40 al 50%. Estos derivados se consumen casi en su totalidad en el sector transporte;
- la rápida penetración al mercado del gas licuado desde el 1 al 8% en los años extremos, combustible de uso principalmente residencial;

/- la

- la mantención de la importancia relativa de la participación del keroseno en el 8%. Este combustible es también de uso principalmente residencial y vio frenado el desarrollo de su consumo por la competencia del gas licuado;
- la disminución de la importancia relativa del consumo de fuel-oil, utilizado como fuente de calor en grandes instalaciones (centrales termoeléctricas, industrias, etc.), que ve disminuida su participación dentro del consumo desde el 50 al 31%.

Como se indicó anteriormente, los derivados del petróleo constituyeron a lo largo de todo el período la base del abastecimiento energético de América Latina.

b) El gas natural

La producción y consumo del gas natural en la región, se limita en la actualidad a 11 países. Los principales productores en 1976 eran Argentina, México y Venezuela a los que les correspondió el 77% del gas producido. Este combustible contribuyó en forma importante a satisfacer la demanda de energía comercial en esos países siendo su importancia del 43% en Venezuela y del 22 y 23% en Argentina y México. (Cuadro 3).

En general, el gas natural se obtiene asociado al petróleo. Normalmente se opera sobre la producción de este último por lo que la producción de gas natural no queda determinada por su mercado consumidor sino por la producción de petróleo. Como el consumo es relativamente bajo en comparación con la producción dados los elevados costos que significa llevar el gas natural a grandes distancias, se ha procedido hasta la fecha a reinyectar los excedentes de producción a los pozos, o, en algunos casos, a quemarlo sin provecho energético alguno. Los nuevos precios de la energía han tenido como uno de sus resultados el que se asigne al gas natural un nuevo valor económico que puede hacer interesante su transporte a lugares donde antes no lo era.

/En relación

En relación al uso final que se da al gas natural, la información disponible no permite llegar a resultados precisos. Se sabe sí que porcentajes importantes se consumen en la industria petrolera y en la industria de la generación termoeléctrica. Cantidades menores se consumen en la siderurgia como combustible y reductor; en los sectores industrial y residencial como combustible; y, como materia prima en la industria petroquímica.

c) El carbón mineral

La importancia del carbón mineral como fuente de energía no ha sido significativa en América Latina dentro del período analizado e incluso su participación relativa dentro del consumo de energía muestra una tendencia decreciente continua. (Cuadros 2 y 3). La causa ha sido el ya mencionado proceso de sustitución de este combustible por el petróleo, consecuencia de la mayor economía y comodidad de su uso. En la actualidad, el consumo de carbón mineral ha quedado limitado fundamentalmente al que hacen de él, dos sectores: la industria de la generación termoeléctrica donde se lo utiliza no tanto por consideraciones económicas sino sociales; y la industria siderúrgica que continúa utilizándolo en su doble papel de reductor químico y fuente calórica.

Los principales países productores de carbón han sido Brasil, Colombia, Chile y México. De los países productores, sólo Colombia y México producen carbón siderúrgico en calidad y cantidad adecuada a sus necesidades. Todos los demás países poseedores de siderurgias deben importar carbón coquizable en mayor o menor cantidad para combinarlo con carbones nacionales. 3/ De este modo, el comercio exterior del carbón mineral no se origina en la industria energética sino en la siderurgia.

---

3/ El carbón apto para la siderurgia debe satisfacer ciertas condiciones respecto a su contenido de azufre y de cenizas, como asimismo no debe dilatarse en el proceso de calentamiento para obtener el coque.

En los últimos años, algunos países productores están considerando la posibilidad de impulsar la producción de carbón mineral como sustituto parcial del petróleo. Ello parece ser especialmente factible en la termoelectricidad y en algunos procesos industriales.

d) La energía eléctrica

i) Producción y consumo

La producción de energía eléctrica fue de 27.6 TWh <sup>4/</sup> en 1950 y creció con una tasa acumulativa anual del 8.8% hasta 1976, año en que se generaron 249.8 TWh. (Cuadro 7). La multiplicidad de aplicaciones de este tipo de energía, algunas de las cuales le son exclusivas, ha dado origen a gran variedad de aparatos domésticos, industriales, de transporte, comunicaciones, etc., cuyo uso se expande continuamente. Ello otorga al crecimiento de su consumo un dinamismo superior al de la energía total. En efecto, en 1950 el consumo de energía eléctrica representó el 25% del consumo total de energía comercial y en 1976 esa cifra era del orden del 35%.<sup>5/</sup>

Parte de la energía generada se pierde inevitablemente en el proceso de su transmisión y distribución. Tales pérdidas crecen rápidamente con la sobrecarga de las líneas, hecho que sucedía con frecuencia en los años 50 y parte de los 60. El porcentaje de pérdidas registrado en esos años en el servicio público era, en promedio para la región, cercano al 20%, cifra que en 1976 se había logrado rebajar a poco más del 14%. Las cifras correspondientes al total (servicio público y autoprodutores) fueron respectivamente 14.6 y 13.8%. (Cuadro 8).

Deducidas las pérdidas, el resto de la energía generada en 1976 se consumía aproximadamente en un 50% en el sector industrial y minero, y en un 30% en el sector residencial-comercial.

---

<sup>4/</sup> 1 TWh = Mil millones de kWh.

<sup>5/</sup> Parte importante del consumo de combustibles fósiles se lo hace con fines de producir energía eléctrica.

Cuadro 7

## AMERICA LATINA: PRODUCCION DE ENERGIA ELECTRICA POR SECTORES Y PAISES, 1950, 1960 Y 1976

(Millones de kWh)

	1950						1960						1976					
	Servicio público			Total del país			Servicio público			Total del país			Servicio público			Total del país		
	Hidráulica	Térmica	Total	Hidráulica	Térmica	Total	Hidráulica	Térmica	Total	Hidráulica	Térmica	Total	Hidráulica	Térmica	Total	Hidráulica	Térmica	Total
Argentina	153	4 370	4 523	183	5 120	5 303	870	6 993	7 863	927	9 531	10 458	7 513	17 685	25 198	7 591	22 529	30 120
Bahamas	-	16	16	-	16	16	-	76	76	-	76	76	-	600	600	-	600	600
Barbados	-	11	11	-	11	11	-	38	38	-	38	38	-	228	228	-	228	228
Bolivia	163	5	168	261	37	298	292	18	310	350	97	447	700	150	850	840	240	1 080
Brasil	6 700	800	1 500	7 198	1 010	8 208	14 831	3 683	18 514	18 384	4 481	22 865	80 391	3 782	84 173	82 361	6 259	88 620
Colombia	810	240	1 050	860	410	1 270	2 244	551	2 795	2 389	1 131	3 520	10 074	3 643	13 717	10 454	5 169	15 623
Costa Rica	158	-	158	175	7	182	380	33	413	392	46	438	1 423	147	1 570	1 438	197	1 635
Cuba	13	745	758	13	1 187	1 200	20	2 213	2 233	20	2 961	2 981	53	5 940	5 993	53	7 145	7 198
Chile	959	200	1 159	1 649	1 294	2 943	2 172	170	2 342	2 977	1 615	4 592	5 453	1 151	6 604	6 234	3 042	9 276
Ecuador	58	52	110	72	80	152	145	164	309	175	214	389	610	1 020	1 630	640	1 180	1 820
El Salvador	38	28	66	40	48	88	236	12	248	240	16	256	433	675	1 108	433	725	1 158
Granada	-	1	1	-	1	1	-	4	4	-	4	4	-	28	28	-	28	28
Guatemala	71	20	91	83	33	116	126	120	246	143	167	310	304	711	1 015	304	886	1 190
Guyana	-	20	20	-	35	35	-	55	55	-	92	92	-	212	212	-	398	398
Haití	-	18	18	-	38	38	-	60	60	-	90	90	145	10	155	145	39	184
Honduras	4	11	15	6	44	50	16	50	66	19	78	97	432	128	560	432	158	590
Jamaica	50	26	76	50	116	166	126	130	256	126	382	508	145	1 258	1 403	145	2 233	2 378
México	1 850	1 700	3 550	1 950	2 474	4 424	4 965	3 624	8 589	5 149	5 579	10 728	17 087	27 545	44 632	17 193	31 545	48 738
Nicaragua	3	21	24	35	45	80	1	101	102	45	131	176	378	538	916	428	613	1 041
Panamá	5	88	93	5	99	104	18	185	203	18	216	234	138	1 176	1 314	138	1 241	1 379
Paraguay	-	30	30	-	40	40	-	65	65	-	96	96	532	10	542	532	73	605
Perú	405	35	440	710	110	820	1 060	118	1 178	1 794	854	2 648	4 550	470	5 020	5 860	2 200	8 060
República Dominicana	-	64	64	-	79	79	-	245	245	-	349	349	210	1 550	1 760	210	1 550	1 760
Suriname	-	8	8	-	35	35	-	39	39	-	79	79	-	58	58	1 176	159	1 335
Trinidad y Tabago	-	48	48	-	168	168	-	261	261	-	470	470	-	1 287	1 287	-	1 367	1 367
Uruguay	527	89	616	527	89	616	676	568	1 244	676	568	1 244	1 217	1 266	2 483	1 217	1 266	2 483
Venezuela	174	319	553	174	479	1 153	95	2 796	2 891	95	4 475	4 570	9 917	8 291	18 208	9 917	11 033	20 950
<b>Total</b>	<b>12 141</b>	<b>9 017</b>	<b>21 158</b>	<b>13 991</b>	<b>13 570</b>	<b>27 561</b>	<b>28 273</b>	<b>22 333</b>	<b>50 606</b>	<b>33 919</b>	<b>33 757</b>	<b>67 676</b>	<b>141 705</b>	<b>79 559</b>	<b>221 264</b>	<b>147 741</b>	<b>102 103</b>	<b>249 844</b>

Fuentes: CEPAL, sobre la base de informaciones oficiales. Bahamas, Barbados, Cuba, Granada, Guyana, Jamaica, Suriname y Trinidad y Tabago: United Nations, *World Energy Supplies*, 1950-1974 y 1972-1976.

AMERICA LATINA: CONSUMO DE ENERGIA ELECTRICA POR PRINCIPALES USOS Y PAISES, (SERVICIO PUBLICO Y AUTOPRODUCTORES), 1950, 1960 Y 1976

(Porcentajes y millones de kWh)

País	1950							1960							1976						
	Do- més- tico	Industrial y minero			Otros	Pér- didas	Total 10 <sup>6</sup> kWh	Do- més- tico	Industrial y minero			Otros	Pér- didas	Total 10 <sup>6</sup> kWh	Do- més- tico	Industrial y minero			Otros	Pér- didas	Total 10 <sup>6</sup> kWh
		Servi- cio pú- blico	Auto- produc- tores	Total					Servi- cio pú- blico	Auto- produc- tores	Total					Servi- cio pú- blico	Auto- produc- tores	Total			
Argentina	27.1	22.1	25.3	47.4	10.8	14.7	5 303	29.8	25.4	23.6	50.0	5.4	15.8	10 458	30.2	29.7	16.7	46.4	9.1	14.3	30 120
Bahamas	...	...	...	...	...	...	16	...	...	...	...	...	...	76	...	...	...	...	...	...	600
Barbados	...	...	...	...	...	...	11	...	...	...	...	...	...	38	...	...	...	...	...	...	228
Bolivia	20.8	23.2	41.6	64.8	1.0	13.4	298	31.5	23.5	29.1	52.6	2.2	13.7	447	32.8	34.4	21.3	55.7	2.0	9.5	1 080
Brasil	19.4	25.0	8.2	33.2	30.4	17.0	8 208	24.5	29.2	18.1	47.3	15.1	13.1	22 865	28.0	41.7	6.3	49.2	10.2	12.6	88 620
Colombia	37.0	16.5	16.5	33.0	15.0	15.0	1 270	39.0	17.4	19.6	37.0	9.2	14.8	3 520	41.2	23.8	12.2	36.0	5.5	17.3	15 623
Costa Rica	54.9	6.6	12.6	19.2	3.4	22.5	182	67.4	7.3	5.5	12.8	5.7	14.1	438	57.4	22.1	4.0	26.1	2.1	14.4	1 635
Cuba	...	...	...	...	...	...	1 200	...	...	...	...	...	...	2 981	...	...	...	...	...	...	7 198
Chile	11.9	14.8	57.6	72.4	7.6	8.1	2 943	13.7	19.8	46.6	66.4	8.6	11.3	4 592	19.5	33.0	28.8	61.8	9.4	9.3	9 276
Ecuador	27.6	5.3	26.3	31.6	9.9	30.9	152	41.6	12.4	19.5	31.9	12.3	14.2	389	37.1	30.3	10.4	40.7	10.3	11.9	1 820
El Salvador	20.5	19.3	23.9	43.2	19.3	17.0	88	40.2	27.0	2.7	29.7	17.6	12.5	256	34.5	39.6	4.3	43.9	12.8	8.8	1 158
Granada	...	...	...	...	...	...	1	...	...	...	...	...	...	4	...	...	...	...	...	...	28
Guatemala	33.6	20.7	20.7	41.4	8.6	16.4	116	38.1	18.0	19.7	37.7	6.8	17.4	310	29.2	34.0	14.7	48.7	9.6	12.5	1 190
Guyana	...	...	...	...	...	...	35	...	...	...	...	...	...	92	...	...	...	...	...	...	398
Haití	...	...	...	...	...	...	...	18.9	12.2	32.2	44.4	4.5	32.2	90	19.1	29.3	13.6	42.9	13.0	25.0	184
Honduras	14.0	6.0	66.0	72.0	4.0	10.0	50	29.9	19.6	29.9	49.5	8.2	12.4	97	31.0	43.6	5.1	48.7	6.6	13.7	590
Jamaica	...	...	...	...	...	...	166	...	...	...	...	...	...	508	...	...	...	...	...	...	2 378
México	14.7	31.6	18.8	50.4	20.3	14.6	4 424	19.4	32.6	18.9	51.6	15.8	13.3	10 728	19.9	46.3	8.4	54.7	11.0	14.4	48 738
Nicaragua	12.2	6.2	66.3	72.5	5.0	10.0	80	30.1	13.6	39.8	53.4	7.4	9.1	176	20.5	27.9	12.0	39.9	28.1	11.5	1 041
Panamá	48.1	14.4	9.6	24.0	7.7	20.2	104	53.4	12.8	12.4	25.2	8.6	12.8	234	54.2	9.2	4.7	13.9	14.5	17.4	1 379
Paraguay	27.5	20.0	25.0	45.0	7.5	20.0	40	34.4	14.6	30.2	44.8	6.2	14.6	96	28.6	16.9	10.4	27.3	32.2a/	11.9	605
Perú	20.1	21.3	44.1	65.4	3.6	10.9	820	16.2	20.0	52.7	72.7	3.0	8.1	2 648	24.0	16.9	36.1	53.0	11.0	12.0	8 060
República Dominicana	...	...	...	...	...	...	79	27.8	23.2	28.4	51.6	11.4	9.2	349	36.9	26.1	-	26.1	7.6	29.4	1 760
Suriname	...	...	...	...	...	...	35	...	...	...	...	...	...	79	...	...	...	...	...	...	1 335
Trinidad y Tabago	...	...	...	...	...	...	168	...	...	...	...	...	...	470	...	...	...	...	...	...	1 367
Uruguay	31.3	40.1	-	40.1	9.4	19.2	616	38.3	38.6	-	38.6	4.9	18.2	1 244	49.5	30.8	-	30.8	3.1	16.4	2 483
Venezuela	17.4	18.0	49.5	67.5	4.3	10.8	1 153	23.7	17.3	34.9	52.2	12.1	12.0	4 570	24.2	29.9	13.1	43.0	16.4b/	16.4	20 950
<b>Total</b>	<b>20.9</b>	<b>23.3</b>	<b>23.6</b>	<b>46.9</b>	<b>17.6</b>	<b>14.6</b>	<b>27 561</b>	<b>25.1</b>	<b>26.0</b>	<b>24.0</b>	<b>50.0</b>	<b>11.5</b>	<b>13.4</b>	<b>67 676</b>	<b>27.4</b>	<b>37.4</b>	<b>11.0</b>	<b>48.4</b>	<b>10.4</b>	<b>13.8</b>	<b>249 844</b>

Fuente: CEPAL, sobre la base de informaciones oficiales.

a/ 202 gWh exportados.

b/ Incluye un consumo importante en obras sanitarias (bombeo).

La calidad de los servicios públicos en el sector urbano ha mejorado considerablemente desde los años 50. Ello se traduce en la actualidad en la ausencia de cortes y racionamientos tan comunes en esos años. El desarrollo, en general adecuado, de la capacidad instalada en ellos ha permitido servir con energía eléctrica a un elevado porcentaje de la población urbana a la vez que a un amplio sector industrial y minero, minimizando cada vez más al sector auto-productor que en general no es económico. No ocurre lo mismo en el sector rural donde los programas para su electrificación recién comenzaron, en términos generales, hacia los años 60. El elevado costo que significa llevar la electricidad al campo ha sido un permanente obstáculo a la electrificación rural y si bien se han realizado avances en esta materia, ellos distan todavía de ser satisfactorios.

ii) Capacidad instalada

Las mayores capacidades de generación de energía eléctrica en América Latina se encuentran ubicadas en Argentina, Brasil, Colombia y México. (Cuadro 9). Ello resulta lógico si se considera que hasta 1976 no había en la región transferencias internacionales importantes de energía eléctrica y en consecuencia las mayores capacidades debían corresponder a aquellos países con mayor población y desarrollo. En 1976, los países nombrados totalizaron en conjunto el 79% de los 66 millones de kW instalados en la región.

Un aspecto interesante de las cifras analizadas es la considerable capacidad instalada termoeléctrica en relación a la capacidad instalada hidráulica. La primera supera a la segunda a lo largo de todo el período hasta 1974, año en que se invierte la situación. Ello parece contradictorio considerando los abundantes recursos hidroeléctricos de que disponen estos países. Varios fueron los factores que entrabaron su utilización más amplia, pero en lo fundamental fue el precio del petróleo, el que frecuentemente hacía que la solución térmica resultara económicamente más ventajosa que la solución hidroeléctrica alternativa. Adicionalmente se pueden mencionar:

/Cuadro 9

Cuadro 9

## AMERICA LATINA: CAPACIDAD INSTALADA PARA GENERAR ENERGIA ELECTRICA POR SECTORES Y PAISES, 1950, 1960 Y 1976

(Miles de kW)

	1950						1960						1976					
	Servicio público			Total del país			Servicio público			Total del país			Servicio público			Total del país		
	Hidráulica	Térmica	Total	Hidráulica	Térmica	Total	Hidráulica	Térmica	Total	Hidráulica	Térmica	Total	Hidráulica	Térmica	Total	Hidráulica	Térmica	Total
Argentina	43	1 303	1 346	49	1 701	1 750	317	1 970	2 287	340	3 134	3 474	1 720	6 150	7 870	1 744	8 099	9 843
Bahamas	-	6	6	-	6	6	-	22	22	-	22	22	-	255	255	-	255	255
Barbados	-	4	4	-	4	4	-	12	12	-	12	12	-	99	99	-	99	99
Bolivia	36	4	40	53	27	80	71	12	83	90	57	147	214	70	284	242	134	376
Brasil	1 455	265	1 720	1 536	347	1 883	2 920	863	3 783	3 642	1 158	4 800	17 310	2 687	19 997	17 675	3 385	21 060
Colombia	170	68	238	186	125	311	460	210	670	505	406	911	2 235	995	3 230	2 305	1 128	3 433
Costa Rica	37	-	37	46	2	48	74	26	100	80	30	110	228	138	366	239	168	407
Cuba	3	161	164	3	417	420	10	535	545	10	934	944	44	971	1 015	44	1 661	1 705
Chile	262	127	389	371	403	774	483	116	599	594	548	1 142	1 354	536	1 890	1 461	1 199	2 660
Ecuador	15	13	28	19	21	40	34	58	92	40	78	118	132	382	514	144	473	617
El Salvador	9	10	19	9	18	27	56	9	65	56	18	74	108	197	305	108	235	343
Grenada	-	1	1	-	1	1	-	2	2	-	2	2	-	7	7	-	7	7
Guatemala	18	9	27	18	15	33	27	32	59	27	46	73	101	176	277	101	202	303
Guyana	-	7	7	-	20	20	-	17	17	-	52	52	-	95	95	-	180	180
Haití	-	6	6	-	13	13	-	13	13	-	28	28	47	18	65	47	36	83
Honduras	1	5	6	1	17	18	3	21	24	3	30	33	69	77	146	69	90	159
Jamaica	9	12	21	...	...	...	22	47	69	22	120	142	15	440	455	15	670	685
México	530	386	916	607	628	1 235	1 250	1 058	2 308	1 328	1 693	3 021	4 541	6 918	11 459	4 601	8 315	12 916
Nicaragua	1	7	8	8	19	27	1	49	50	9	69	78	100	152	252	107	192	299
Panamá	2	26	28	2	31	33	7	55	62	7	66	73	166	299	465	166	329	495
Paraguay	-	9	9	-	13	13	-	29	29	-	45	45	188	80	268	188	101	289
Perú	71	44	115	177	141	318	222	127	349	416	363	779	1 149	370	1 519	1 392	1 070	2 462
República Dominicana	-	39	39	-	50	50	8	70	78	8	112	120	149	521	670	149	521	670
Suriname	-	4	4	-	20	20	-	11	11	-	29	29	-	36	36	180	181	361
Trinidad y Tabago	-	17	17	-	58	58	-	81	81	-	129	129	-	404	404	-	454	454
Uruguay	128	90	218	128	90	218	236	205	441	236	205	441	252	423	675	252	423	675
Venezuela	36	144	180	36	320	356	22	743	765	22	1 234	1 256	2 245	2 307	4 552	2 245	2 906	5 151
<b>Total</b>	<b>2 826</b>	<b>2 767</b>	<b>5 593</b>	<b>3 249</b>	<b>4 507</b>	<b>7 756</b>	<b>6 223</b>	<b>6 393</b>	<b>12 616</b>	<b>7 435</b>	<b>10 620</b>	<b>18 055</b>	<b>32 367</b>	<b>24 803</b>	<b>57 170</b>	<b>33 474</b>	<b>32 513</b>	<b>65 987</b>

Fuentes: CEPAL, sobre la base de informaciones oficiales. Bahamas, Barbados, Cuba, Granada, Guyana, Jamaica, Suriname, Trinidad y Tabago: United Nations, *World Energy Supplies*, 1950-1974 y 1972-1976.



- escasez de capitales, que afectaba principalmente a los proyectos hidroeléctricos que requieren comparativamente una inversión inicial mucho mayor;
- elevado interés del capital que perjudicaba su factibilidad económica;
- limitaciones técnicas a la transmisión económica de la energía eléctrica a grandes distancias. En 1950 las distancias máximas no sobrepasaban los 500 km, cifra que en 1976 casi se quintuplicaba;
- limitación de los mercados consumidores.

Además, una cierta parte de la capacidad instalada térmica tenía carácter de reserva, hecho que se aprecia por la menor utilización que, en promedio, se hacía de ellas y porque la generación hidroeléctrica, en general, ha superado a la generación térmica en todo el período, si bien en forma importante sólo en los últimos años de la década del sesenta. En 1976, por ejemplo, el 59% de la generación total fue de origen hidráulico.

Justamente en los años sesenta se originan o se mejoran algunos factores que facilitaron el desarrollo posterior de la hidroelectricidad. Entre ellos se pueden mencionar:

- mayor facilidad para obtener ayuda financiera en organismos internacionales de crédito;
- progresos tecnológicos en la transmisión de energía a grandes distancias;
- ampliación de las redes de interconexión;
- crecimiento de los mercados consumidores;
- aumento de la capacidad técnica y económica de algunos países para abordar proyectos de gran envergadura.

iii) Fuentes primarias utilizadas en la generación

Desde comienzos del período se han utilizado para producir energía eléctrica, fuera del potencial hidráulico, cuatro fuentes primarias de energía calórica: el petróleo, el gas natural, el carbón

/mineral y

mineral y los combustibles vegetales. En los últimos años se han incorporado otras dos fuentes adicionales: la energía nuclear y la energía geotérmica. De las fuentes calóricas nombradas, el petróleo ha sido constantemente la más importante en cuanto a los volúmenes consumidos, más que duplicando el de los demás combustibles en conjunto.

La parte del consumo total de combustibles fósiles que se destina a la producción de energía eléctrica es relativamente importante. En 1976, cerca del 20% era utilizado con ese fin. Esta cifra tiene interés ya que este sector es uno de los que más fácilmente admite sustitución en el uso de las diferentes fuentes. Siendo el petróleo el componente principal de la cifra señalada se concluye que existe en él buenas perspectivas de sustituir consumo de petróleo por hidroelectricidad, carbón, gas natural, energía geotérmica y energía nuclear. También debe ser incorporada a este grupo la energía solar una vez determinada su factibilidad económica respecto del petróleo. También el porcentaje señalado tiene importancia debido a que corrientemente las centrales térmicas se las construye cercanas a los grandes centros de consumo, por lo que su funcionamiento contribuye a agravar el problema de la contaminación ambiental que frecuentemente los afecta.

La eficiencia en la conversión de energía calórica a energía eléctrica en las centrales térmicas ha venido mejorando continuamente. En 1950 se necesitaba alrededor de 420 grs de petróleo equivalente para producir 1 kWh. En 1976 esa cifra se había reducido a 299 grs. La cifra mínima teórica es de 80 grs. Lo anterior significa que se está aprovechando en la actualidad sólo la cuarta parte de la energía calórica contenida en el combustible. En los países de la OECD el consumo específico era de 234 grs/kWh, originado este mejor rendimiento en un parque generador con unidades de mayor potencia y a un mayor número de horas de funcionamiento anual.

#### 4. Conclusiones

Las conclusiones fundamentales que pueden extraerse del análisis histórico hecho en este capítulo para el período 1950-1976 son los siguientes:

1. Sólo 5 de los 27 países satisfacen completamente su demanda interna de derivados con su producción local de petróleo. Otros 7 lo hacen parcialmente y los 15 restantes importan la totalidad del petróleo que consumen.
2. La fuente energética que se utiliza fundamentalmente para satisfacer la demanda de energía es el petróleo. Y en los 22 países que no se autoabastecen de este combustible, los dos tercios de su consumo interno se satisface con petróleo importado.
3. También se desprende de lo dicho en el capítulo que existen, entre otras, dos medidas que podrían reducir esta considerable dependencia del petróleo importado. Una de ellas es acentuar la búsqueda de nuevos yacimientos petrolíferos en la región ya que se estima que por las condiciones geológicas favorables deben existir importantes reservas no descubiertas. La otra es impulsar políticas de sustitución del petróleo en algunos de sus usos por fuentes locales en lo posible limpias como la energía hidroeléctrica, por ejemplo, y eventualmente la energía solar, recursos que la región posee en abundancia.

## Sección II

### LA ENERGIA COMO FACTOR DE CONTAMINACION DEL MEDIO AMBIENTE

El consumo de energía tiene, en la forma como actualmente se lo realiza, un considerable efecto sobre el medio ambiente. Prácticamente todas las fuentes de energía utilizadas ejercen, de un modo u otro, ya sea en sus etapas de producción y refinación, transporte o consumo, alguna acción sobre el medio. Esta acción afecta a sus tres componentes: aire, agua, tierra, y tiende normalmente a degradarlos.

La forma como cada fuente primaria de energía puede afectar al medio adquiere diversas modalidades que, en forma resumida, se presentan en el cuadro 10.

Probablemente, el tipo de energía que tiene efectos ambientales de menor importancia es la hidroelectricidad. Ellos se originan fundamentalmente en la etapa de la producción y adquiere importancia casi exclusivamente en aquellos proyectos que utilizan grandes presas. Su acción ambiental puede agruparse en:

- Efectos locales
- Efectos aguas abajo
- Efectos sociales

Los primeros son de variada naturaleza y entre ellos pueden mencionarse las necesarias modificaciones del paisaje originada en la preparación de las obras, caminos de acceso, movimiento de materiales y la implantación en el paisaje de una gran estructura. Una vez construida la presa, se produce la inundación de vastas zonas con alteraciones de la flora, fauna, nivel de la capa freática, pérdidas de agua por aumento de la evaporación e incluso se les atribuye en algunos casos el origen de pequeños sismos debido a la alteración del equilibrio estático de la corteza terrestre causado por la gran concentración de agua.

Los efectos aguas abajo de la presa se originan en su funcionamiento mismo. Además de alterar el régimen natural del río, produce cambios en la temperatura del agua, en la cantidad de sales y productos nutritivos que arrastra. Algunos de estos factores puede obligar a introducir cambios en los métodos de trabajo y de fertilización utilizados.

Cuadro 10

## EFECTOS POTENCIALES DE LAS FUENTES ENERGETICAS SOBRE EL MEDIO AMBIENTE

Producción y refinación	Transporte	Uso final
<u>Carbón</u> Alteración del paisaje por extracciones de material y acumulación de desechos, contaminación del aire por la combustión, quema de residuos o partículas de carbón fino, contaminación de aguas por drenaje de la mina y por procesos de lavado	Contaminación del aire	Alteración del paisaje por las obras de aprovechamiento, acumulación del combustible, de la escoria y cenizas, etc. Contaminación del aire con cenizas, compuestos del carbono, azufre y nitrógeno, etc.
<u>Petróleo</u> Alteración del paisaje, contaminación del aire por combustión, contaminación del agua por eliminación de salmueras o por accidentes en las perforaciones, alteraciones térmicas	Contaminación del aire, contaminación del agua por derrames, contaminación del terreno por accidentes en oleoductos	Contaminación del aire por gases de la combustión de los derivados y por partículas, contaminación del agua por descargas térmicas
<u>Gas natural</u> Contaminación del aire por combustión de exceso de producción	Alteración del paisaje, problemas por accidentes en los gasoductos, contaminación del aire en las estaciones compresoras	Contaminación del aire, alteración térmica en el agua
<u>Hidroelectricidad</u> Alteraciones del paisaje, efectos sobre el clima local, alteraciones en la cantidad de agua, efectos sobre las napas subterráneas, alteraciones en la calidad (nutrientes, sedimentos, etc.), alteraciones sísmicas	Alteración del paisaje, ruidos y efectos electromagnéticos en la vecindad de las líneas de transmisión	No hay
<u>Núcleo electricidad</u> Contaminación radiactiva, contaminación térmica del agua, desechos radiactivos, posibilidad de accidentes	Alteración del paisaje, ruidos y efectos electromagnéticos en la vecindad de las líneas de transmisión	No hay

Los efectos sociológicos tienen que ver principalmente con la readaptación de los habitantes que originariamente ocupaban la zona inundada por la presa.

Sin embargo, los efectos ambientales positivos de estas obras son indiscutibles. Desde luego, permite la producción y almacenamiento económico de un tipo de energía que, en su etapa de consumo es totalmente limpia permitiendo obtener claras ventajas ambientales al sustituir en algunos de sus usos a los combustibles fósiles o nucleares de elevada contaminación real o potencial.

El hecho de que estas obras son diseñadas generalmente para satisfacer objetivos múltiples (regadío, agua potable, control de inundaciones, recreación, etc.), tiene efectos económicos, sociales y ambientales de considerable importancia como proporcionar más alimentos y agua potable a las poblaciones, evitar la destrucción de vidas, bienes y enfermedades originadas en las inundaciones, proteger la tierra contra la erosión, etc.

De este modo, el balance sobre los resultados ambientales de estas obras puede ser considerado como positivo y mediante un adecuado diseño de ellas donde se consideren no sólo los aspectos de ingeniería y economía sino además los ambientales y sociológicos, se pueden minimizar sus efectos adversos al medio.

Los combustibles fósiles, en cambio, sí tienen efectos sobre el medio ambiente que pueden ser considerados graves. Dentro de ellos se destaca, sin duda, el de la contaminación atmosférica, en especial en los casos de los derivados del petróleo y del carbón mineral. Estos combustibles llevan incorporados normalmente diversas impurezas de las cuales la más nociva es el azufre que, en los casos más desfavorables, llega a constituir hasta poco más del 7% de su peso.

En el proceso de la combustión se obtiene, además de la energía calórica, que es el producto útil, varios compuestos gaseosos perjudiciales del azufre, carbono, nitrógeno y otros, además de partículas sólidas (polvo, ceniza, hollín). Especialmente algunos de los primeros como el anhídrido sulfuroso, monóxido de carbono y peróxido de nitrógeno

/son francamente

son francamente tóxicos para el hombre. La capacidad para contaminar el aire de estos combustibles es considerable. La combustión de una tonelada de petróleo con 3% de azufre, produce poco más de 60 kg de anhídrido sulfuroso. Si se consideran las normas que al respecto existen en Estados Unidos, por ejemplo, las cuales toleran como máximo la existencia de 80 millonésimas de gramo por  $m^3$  de aire en promedio anual, se llega a la conclusión que el proceso señalado requiere de 750 millones de  $m^3$  para que dicho límite máximo no se sobrepase. La magnitud del problema queda en evidencia si se considera que una central generadora de energía eléctrica a base de petróleo con potencia de 100 000 kW consumirá diariamente del orden de unas 450 toneladas de este combustible. Si un 10% de la tonelada de petróleo sufre un proceso de combustión incompleta, dará origen a 200 kg de monóxido de carbono. Considerando las mismas normas que sólo aceptan un máximo de 10 mgr de CO por  $m^3$ , se requerirán en este caso 20 millones de  $m^3$  de aire para diluir este contaminante a límites aceptables. Finalmente, en relación al peróxido de nitrógeno, en las condiciones indicadas se obtendrían casi 9 kg de este compuesto. Las normas aludidas toleran un máximo de 100 millonésimas de gramo por  $m^3$  en promedio al año requiriéndose 90 millones de  $m^3$  de aire. Algo muy parecido ocurre con la combustión de una tonelada de carbón.

Respecto del anhídrido carbónico ( $CO_2$ ) que es el principal producto en peso de la combustión, se ha venido constatando un aumento en su participación porcentual en la composición de la atmósfera superior. Se estima que si esta concentración continúa incrementándose se irá produciendo un efecto de invernadero cada vez más acentuado aumentando la temperatura en la superficie terrestre con las consecuencias inherentes a ello (fusión de hielos y las inundaciones correspondientes). Este aumento en la concentración del  $CO_2$  es atribuido por algunos investigadores, al excesivo consumo de combustibles fósiles que caracteriza a la época actual. Si se considera que éste alcanza a unos 6 500 millones de toneladas al año, que se traduce en una producción aproximada de 21 000 millones de toneladas de  $CO_2$ , debe llegarse a la conclusión que esta hipótesis no carece de argumentos valederos. 1/ El mayor porcentaje

---

1/ Bajo condiciones de combustión completa, 1 tonelada de petróleo da origen a 3.1 toneladas de este gas, y el carbón mineral a 3.7 toneladas.

de la contaminación con anhídrido sulfuroso proviene de las centrales termoeléctricas y de la industria en general por el uso que hacen del fuel-oil y del carbón mineral. En la gasolina, se controla cuidadosamente la presencia de azufre por su efecto corrosivo sobre el motor.

En cambio, la mayor proporción de la contaminación con monóxido de carbono y óxidos de nitrógeno provienen del funcionamiento de los automóviles. El azufre puede ser removido del petróleo mediante procesos de desulfuración con un costo de aproximadamente 1,0 dólares por barril. La producción de CO puede limitarse mediante un adecuado mantenimiento del motor y, más recientemente mediante cambios en el diseño del motor mismo. El CO<sub>2</sub> es en cambio el resultado inevitable de la combustión del carbono y los volúmenes originados en el consumo del carbón o del petróleo no pueden ser alterados.

Las consecuencias sociales y económicas de la contaminación atmosférica son importantes, si bien difíciles de evaluar. A ella debe atribuirse en parte el incremento de las enfermedades respiratorias (efisemas, asma, bronquitis, etc.) y del cáncer pulmonar, todo lo cual se traduce en muertes prematuras, pérdidas de horas de trabajo y recargo de los servicios médicos. Además deterioran edificios y obras urbanas degradando las condiciones estéticas y de calidad de vida.

Los peores efectos sobre la salud se atribuyen al anhídrido sulfuroso y, en menor escala, al monóxido de carbono. Más recientemente se ha comprobado que, debido a las elevadas temperaturas que se alcanzan durante la combustión, se producen compuestos oxigenados del nitrógeno (NO y NO<sub>2</sub>) que dañan la salud directamente o combinándose con otros elementos bajo la acción de la radiación solar. Además, se señala al NO<sub>2</sub>, debido a su color café-rojizo como un elemento que disminuye las condiciones de visibilidad.

Según un informe preparado por el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS) correspondiente al período 1967-1974, habían en América Latina un total de 87 ciudades que presentaban problemas reales o potenciales de contaminación del aire. (Cuadro 11). Estas ciudades totalizan en la actualidad unos 70 millones de



Cuadro 11

87 CIUDADES DE LA AMERICA LATINA Y EL CARIBE EN LAS QUE DEBERIAN INICIARSE PROGRAMAS DE CONTROL DE LA CONTAMINACION DEL AIRE,  
DE ACUERDO A LAS METAS DE LA III REUNION ESPECIAL DE MINISTROS DE SALUD DE LAS AMERICAS

País	Ciudad	Cate- goría	País	Ciudad	Cate- goría	País	Ciudad	Cate- goría	País	Ciudad	Cate- goría
Argentina	Bahía Blanca	3	Brasil	Nova Hamburgo	3	Chile	Concepción	2	Paraguay	Asunción	2
	Buenos Aires	1		Pelotas	3		Santiago	1			
	Córdoba	1		Piracicaba	3		Valparaíso	1	Perú	Arequipa	2
	Corrientes	3		Puerto Alegre	1					Chiclayo	3
	La Plata	1		Recife	1	Ecuador	Guayaquil	1		Chimbote	3
	Mar del Plata	2		Riberão Preto	3		Quito	1		Lima	1
	Mendoza	2		Río de Janeiro	1					Trujillo	3
	Paraná	3		Salvador	1	El Salvador	San Salvador	2			
	Rosario	1		Santos	2				República Dominicana	Santo Domingo	1
	Salta	3		São Paulo	1	Guatemala	Guatemala	1			
	San Juan	3							Suriname	Paramaribo	3
	Santa Fe	3	Colombia	Barranquilla	1	Guyana	Georgetown	3			
	Tucumán	2		Bogotá	1				Trinidad y Tabago	Puerto España	1
				Bucaramanga	2	Haití	Puerto Príncipe	2			
Bahamas	Freeport	3		Cali	1				Uruguay	Montevideo	1
				Cartagena	2	Jamaica	Kingston	1			
Barbados	Bridgetown	3		Medellín	1				Venezuela	Barquisimeto	2
						Honduras	Tegucigalpa	3		Caracas	1
Bolivia	La Paz	2	Costa Rica	San José	3					Ciudad Gueyana	3
						México	Ciudad Juárez	2		Maracaibo	1
Brasil	Americana	3	Cuba	Camagüey	3		Guadalajara	1		Maracay	3
	Belém	1		Cienfuegos	3		México	1		Valencia	2
	Belo Horizonte	1		Holguín	3		Monterrey	1			
	Brasilia	2		La Habana	1		Puebla	2			
	Campinas	3		Matanzas	3				<u>Resumen:</u>		
	Campos	2		Nuevitas	3	Nicaragua	Managua	2		Categoría 1	33
	Caxias do Sul	3		Pinar del Río	3					Categoría 2	20
	Curitiba	1		Sagua la Grande	3	Panamá	Panamá	2		Categoría 3	34
	Fortaleza	1		Santa Clara	3					<u>Total</u>	<u>87</u>
	Juiz de Fora	3		Santiago de Cuba	3						

Fuente: Informe 1967-1974. Red Panamericana de Muestreo de la Contaminación del Aire, Organización Panamericana de la Salud.

Categorías: 1 - 500 000 habitantes o más; 2 - No llegan aún a 500 000 habitantes, pero seguramente sobrepasarán esta cifra durante la década; 3 - Otras ciudades con problemas actuales o potenciales de contaminación del aire.

habitantes. En el informe se incluye información respecto a 93 estaciones de observación instaladas en 29 ciudades. (Cuadro 12). Por ejemplo, en relación a la existencia de anhídrido sulfuroso en el aire, el informe señalaba que en aproximadamente el 28% de las muestras tomadas se pudo comprobar que se sobrepasaba el nivel de referencia adoptado (70 millonésimas de gramo por  $m^3$ ). Las ciudades afectadas con contaminación excesiva eran Sao Paulo, Ciudad de México, Montevideo, La Habana, Caracas, Santiago y Córdoba. (Cuadro 13). En algunos casos se midieron valores tan elevados como 359 millonésimas de gramo por  $m^3$  (en una estación de Sao Paulo) y 289 millonésimas (en una de Ciudad de México) que eran las ciudades más afectadas en el período considerado. (Cuadro 14).

La contaminación atmosférica producida en la etapa de consumo de los combustibles fósiles no es, sin embargo, la única forma cómo ellos afectan el medio humano. El carbón, por ejemplo, origina también diversos problemas de contaminación en su etapa de extracción: contamina el agua de drenaje de las minas y el agua utilizada en el proceso de lavado; la extracción obliga a grandes movimientos de materiales que degrada el paisaje; el polvillo del carbón afecta la calidad del aire en zonas vecinas a las minas como también la del agua, vehículo normalmente utilizado para eliminarlo y que luego produce turbidez y sedimentación en los cursos de agua donde descarga.

En el caso del petróleo, el mayor problema es, a veces, la eliminación de la salmuera que se extrae junto con el petróleo. Su manipulación inadecuada puede contaminar grandes volúmenes de agua dulce. El transporte de este combustible sea por oleoductos o por mar está sujeto a frecuentes accidentes que afectan el suelo o a vastas zonas marítimas. Las refinerías de petróleo, por su parte, contaminan el agua con gran cantidad de sustancias como carbón orgánico, sólidos diversos, petróleo, grasas, amoníaco, sulfuros, cloruros, fluoruros, cianuros, cromo, zinc, plomo, elementos ácidos y alcalinos. Además, requieren de grandes volúmenes de agua de enfriamiento por lo que la alteración de la temperatura de la masa de agua donde descarga constituye un problema concreto.

Cuadro 12

REDPANAMIRE: ANHIDRIDO SULFUROSO, 1967-1974

Ciudades integradas a la Red en el orden decreciente del porcentaje de todas las muestras diarias que exceden de 70 ug/m<sup>3</sup>, valor propuesto como Nivel de Referencia

Ciudad	Estaciones en la ciudad	Total de muestras diarias	Muestras que exceden de 70 ug/m <sup>3</sup>	Porcentaje
1. São Paulo	11	4 131	2 533	61.3
2. México	14	21 777	12 891	59.2
3. Santiago	2	3 117	1 371	44.0
4. Rosario	1	98	30	30.6
5. La Habana	6	4 407	1 146	26.0
6. Montevideo	2	1 211	277	22.9
7. Río de Janeiro	1	1 348	276	20.5
8. Córdoba	2	1 526	234	15.3
9. Buenos Aires	6	3 497	435	12.4
10. Caracas	8	8 669	985	11.4
11. Porto Alegre	1	1 546	157	10.2
12. Belo Horizonte	1	749	15	2.0
13. San José	1	953	18	1.9
14. Medellín	4	3 745	51	1.4
15. Bogotá	6	5 939	58	1.0
16. Cali	4	940	7	0.7
17. Barranquilla	3	550	1	0.2
18. Lima	4	3 096	0	0.0
19. San Salvador	2	1 323	0	0.0
20. Bucaramanga	1	870	0	0.0
21. La Paz	1	846	0	0.0
22. Mendoza	3	716	0	0.0
23. Guatemala	1	477	0	0.0
24. Santiago de Cuba	2	281	0	0.0
25. Kingston	1	250	0	0.0
26. Holguín	1	231	0	0.0
27. Maracaibo	2	174	0	0.0
28. Curitiba	1	137	0	0.0
29. Cartagena	1	21	0	0.0
<u>Total</u>	<u>93</u>	<u>72 625</u>	<u>20 485</u>	<u>28.2</u>

Fuentes Informe 1967-1974. Red Panamericana de Muestreo de la Contaminación del Aire, Organización Panamericana de la Salud.

Cuadro 13

REDPANAIRE: ANHIDRIDO SULFUROSO, 1967-1974

Estaciones de la Red en el orden decreciente del promedio aritmético de los promedios mensuales de las concentraciones (ug/m<sup>3</sup>)

Estación	Promedio general	Número de promedios mensuales	Estación	Promedio general	Número de promedios mensuales
1. São Paulo 11	246.3	10	48. La Habana 3	24.7	19
2. México 10	142.3	51	49. Bogotá 5	23.0	32
3. México 3	137.8	78	50. Cali 1	20.2	23
4. México 11	136.7	39	51. San Salvador 2	19.8	18
5. México 12	135.0	16	52. Buenos Aires 3	19.7	10
6. México 1	134.1	80	53. San José 1	15.9	34
7. São Paulo 7	130.0	10	54. Caracas 2	15.2	62
8. São Paulo 2	108.8	12	55. Caracas 4	15.2	47
9. Montevideo 2	107.9	13	56. La Habana 5	15.0	18
10. São Paulo 10	104.2	10	57. Córdoba 1	14.7	40
11. São Paulo 6	103.3	10	58. Mendoza 2	14.3	37
12. México 6	96.9	65	59. Cartagena 1	13.9	4
13. La Habana 1	90.8	58	60. Caracas 1	13.6	64
14. México 9	90.7	56	61. Buenos Aires 22	12.0	8
15. São Paulo 1	86.0	67	62. San Salvador 1	11.6	46
16. Caracas 3	80.5	67	63. Caracas 6	11.3	27
17. São Paulo 4	79.7	11	64. Cali 3	11.3	23
18. São Paulo 9	77.7	10	65. La Habana 11	11.3	7
19. Santiago 1	77.6	82	66. São Paulo 8	11.2	10
20. México 8	76.3	62	67. Buenos Aires 4	11.2	8
21. México 7	74.7	64	68. São Paulo 3	10.9	11
22. México 5	73.3	75	69. Kingston 1	10.4	22
23. México 13	73.2	17	70. Caracas 5	10.3	38
24. Córdoba 2	72.0	24	71. Caracas 7	10.0	22
25. Santiago 2	69.0	N.R.	72. Guatemala 1	9.0	17
26. São Paulo 5	60.6	11	73. Caracas 8	8.9	16
27. México 2	60.1	O.L.P.	74. Holguín 1	8.6	9
28. México 4	58.0	77	75. Lima 1	7.5	66
29. Rosario 1	50.3	5	76. Bogotá 6	7.5	30
30. México 14	50.1	17	77. Curitiba 1	7.0	5
31. Bogotá 3	49.7	7	78. Maracaibo 2	6.2	5
32. Río de Janeiro 1	49.6	86	79. Lima 2	6.1	34
33. Buenos Aires 23	49.0	24	80. Mendoza 9	5.0	12
34. Buenos Aires 1	42.3	71	81. Lima 3	4.9	34
35. Porto Alegre 1	40.7	52	82. Cali 2	4.7	24
36. Montevideo 1	39.2	36	83. Bucaramanga 1	4.3	40
37. Medellín 3	38.2	38	84. Barranquilla 2	4.1	25
38. La Habana 2	36.2	48	85. Cali 4	4.1	13
39. Medellín 2	34.6	35	86. Maracaibo 1	3.7	5
40. Bogotá 1	29.5	81	87. Mendoza 1	2.8	2
41. La Habana 6	29.4	19	88. Lima 4	2.6	19
42. Medellín 4	28.7	34	89. Santiago de Cuba 2	2.2	2
43. Belo Horizonte 1	28.1	29	90. Barranquilla 1	1.7	22
44. Medellín 1	26.6	37	91. Santiago de Cuba 1	1.1	11
45. Bogotá 4	26.6	32	92. La Paz 1	1.0	29
46. Buenos Aires 2	26.6	18	93. Barranquilla 3	0.7	13
47. Bogotá 2	25.2	28			

Fuente: Informe 1967-1974. Red Panamericana de Muestreo de la Contaminación del Aire, Organización Panamericana de la Salud.

Cuadro 14

REDPNAIRE: ANHIDRIDO SULFUROSO, 1967-1974

Estaciones de la Red en el orden decreciente del promedio máximo mensual obtenido en cada estación con indicación del mes en que se presentó el promedio máximo (ug/m<sup>3</sup>)

Estación	Mes	Máximo promedio mensual	Estación	Mes	Máximo promedio mensual
1. São Paulo 11	Octubre 1973	359	48. Córdoba 1	Octubre 1974	47
2. México 10	Septiembre 1971	289	49. Medellín 3	Junio 1974	47
3. México 11	Noviembre 1974	244	50. Medellín 2	Enero 1972	45
4. México 3	Diciembre 1970	242	51. Bogotá 5	Febrero 1972	45
5. México 1	Mayo 1971	237	52. La Habana 3	Diciembre 1973	43
6. Santiago 1	Junio 1967	235	53. Medellín 1	Enero 1972	42
7. Córdoba 2	Enero 1973	230	54. La Habana 5	Diciembre 1973	41
8. São Paulo 1	Junio 1972	223	55. Cali 1	Octubre 1971	41
9. Caracas 3	Mayo 1970	207	56. Caracas 4	Junio 1971	39
10. La Habana 1	Abril 1974	179	57. Caracas 6	Agosto 1972	35
11. São Paulo 7	Junio 1973	178	58. Caracas 2	Mayo 1970	34
12. México 6	Mayo 1971	174	59. Mendoza 2	Noviembre 1971	33
13. Santiago 2	Julio 1967	173	60. Lima 1	Marzo 1971	31
14. México 12	Junio 1973	169	61. Buenos Aires 3	Septiembre 1969	30
15. Montevideo 2	Enero 1974	158	62. San Salvador 2	Diciembre 1974	29
16. São Paulo 3	Junio 1973	156	63. Caracas 1	Junio 1968	24
17. México 8	Febrero 1972	155	64. Buenos Aires 4	Febrero 1971	23
18. São Paulo 2	Julio 1973	154	65. Buenos Aires 22	Noviembre 1971	23
19. México 9	Enero 1972	144	66. Caracas 8	Septiembre 1972	22
20. México 5	Mayo 1971	138	67. Cali 2	Noviembre 1972	22
21. Buenos Aires 1	Octubre 1971	134	68. Guatemala 1	Marzo 1973	21
22. São Paulo 10	Octubre 1973	132	69. Cartagena 1	Octubre 1973	21
23. São Paulo 6	Septiembre 1973	130	70. Kingston 1	Enero 1968	21
24. Río de Janeiro 1	Junio 1972	127	71. San Salvador 1	Febrero 1973	19
25. México 7	Mayo 1971	124	72. Caracas 5	Septiembre 1972	19
26. México 2	Noviembre 1971	115	73. Cali 3	Octubre 1972	18
27. México 4	Abril 1971	111	74. Lima 2	Abril 1974	18
28. La Habana 2	Abril 1973	104	75. Mendoza 9	Enero 1973	18
29. Rosario 1	Diciembre 1971	103	76. Bogotá 6	Febrero 1973	17
30. México 13	Mayo 1974	103	77. Caracas 7	Abril 1973	16
31. Montevideo 1	Julio 1970	102	78. La Habana 11	Diciembre 1974	16
32. São Paulo 4	Agosto 1973	98	79. São Paulo 8	Junio 1973	16
33. São Paulo 9	Septiembre 1973	94	80. Bucaramanga 1	Agosto 1974	13
34. Barranquilla 2	Julio 1973	90	81. Holguín 1	Diciembre 1974	12
35. La Habana 6	Octubre 1973	86	82. Lima 3	Abril 1973	11
36. México 14	Mayo 1974	83	83. Curitiba 1	Julio 1974	11
37. Buenos Aires 23	Octubre 1973	79	84. Cali 4	Septiembre 1972	10
38. Porto Alegre 1	Abril 1971	77	85. Maracaibo 2	Noviembre 1973	8
39. São Paulo 5	Junio 1973	75	86. Lima 4	Febrero 1972	8
40. Buenos Aires 2	Julio 1968	69	N.R.	Febrero 1974	7
41. Bogotá 1	Noviembre 1967	65	87. Maracaibo 1	Enero 1972	5
42. Bogotá 4	Febrero 1972	65	88. Barranquilla 1	Octubre 1970	4
43. Bogotá 3	Agosto 1974	63	O.L.P.	Marzo 1974	4
44. Belo Horizonte 1	Agosto 1973	57	89. Mendoza 1	Diciembre 1974	3
45. San José 1	Octubre 1973	56	90. Santiago de Cuba 1	Enero 1973	3
46. Medellín 4	Diciembre 1971	52	91. Santiago de Cuba 2	Septiembre 1973	2
47. Bogotá 2	Junio 1973	47	92. Barranquilla 3		
			93. La Paz 1		

Fuente: Informe 1967-1974. Red Panamericana de Muestreo de la Contaminación del Aire, Organización Panamericana de la Salud.

El gas natural es, en la etapa de consumo, el más limpio de los combustibles fósiles ya que se lo entrega libre de los compuestos de azufre. Pero cuando se lo hace arder en el aire para eliminar exceso de producción, hecho frecuente en América Latina, posee parecidas características contaminantes a las del carbón mineral o del petróleo.

Respecto a los combustibles nucleares, sus efectos ambientales concretos se producen en la etapa extractiva alterando el paisaje y afectando la salud de los mineros por la radiación. Los demás efectos son potenciales y tienen que ver con la posibilidad de ocurrencia de accidentes en las centrales, por una parte, y a la eliminación de los desechos radioactivos, por otra. Uno de éstos, el plutonio, es un elemento sumamente tóxico, del que se estima que es suficiente la aspiración de 1 millonésimo de gramo para producir cáncer al pulmón. La actividad de este elemento alcanza a unos 200 000 años. Es evidente entonces el peligro potencial que representa el plutonio mientras no se logre neutralizarlo en forma segura.

En la transformación de la energía calórica originada sea en los combustibles fósiles, sea en los nucleares, en energía eléctrica, se produce un tipo especial de alteración del medio ambiente consistente en el aumento de temperatura que experimenta localmente el río, lago o mar donde se arroja esta agua de enfriamiento. Algo semejante ocurre, como se mencionó, en las refineries de petróleo.

En las centrales termoeléctricas latinoamericanas que operan a base de combustibles fósiles, principalmente derivados del petróleo y gas natural, se están utilizando actualmente unos 3 200 kilo calorías (unos 300 gramos de petróleo equivalente de 10 700 kCal/kg) en producir 1 kWh. Ello significa que se está aprovechando sólo una cuarta parte de la energía calórica producida en su combustión. El resto se pierde a través de los gases de escape en la chimenea, pero muy especialmente a través del agua de enfriamiento (más del 50% por esta última vía). La elevación de temperatura del agua donde se descarga el agua caliente proveniente de la central dependerá de su volumen y de la potencia de

/la central.

la central. Una unidad de 100 000 kW, por ejemplo, eliminará a través del agua de enfriamiento un total aproximado de 160 millones de kilocalorías/hora (para las condiciones indicadas), cantidad suficiente para elevar la temperatura de un flujo de agua de  $5 \text{ m}^3/\text{seg}$  en cerca de  $10^\circ\text{C}$ , o la de un flujo de agua de  $10 \text{ m}^3/\text{seg}$  en unos  $5^\circ\text{C}$ . Como norma general, puede decirse que la elevación de la temperatura del agua más allá de los  $30$  a  $35^\circ\text{C}$  crea condiciones de vida muy desfavorables para los organismos acuáticos y que la diferencia máxima de temperatura que puede producirse entre la temperatura natural del agua y la temperatura modificada por el agua caliente proveniente de la central no conviene que supere los  $5^\circ\text{C}$  para no alterar en forma notoria el equilibrio biológico.

Estos son, a grandes rasgos, los efectos del uso actual de la energía sobre el medio ambiente. Para apreciar la importancia que puede alcanzar la contaminación originada en el consumo de energía en el futuro considerado y las perspectivas que podrían existir para aminorar su efecto, es necesario estimar cuál podría ser el consumo total de energía y su distribución por fuente abastecedora; cuáles serían los sectores donde se consumirían las fuentes más contaminantes y qué perspectivas ofrecen esos sectores de sustituir esta energía contaminante u otras más limpias. Tales estimaciones se harán en la sección IV.

### Sección III

#### LA ENERGIA SOLAR

En la presente sección se hace un análisis muy resumido de la energía solar y de la tecnología utilizada en dos de sus aplicaciones que parecen tener mejores posibilidades económicas en el corto y mediano plazo: la producción de agua caliente a temperaturas moderadas y la producción de energía eléctrica por conversión termodinámica. Si bien la energía solar es una de las varias formas de energía no convencional que se estudian en la actualidad, el presente trabajo ha concentrado la atención en ella por los siguientes motivos:

- Dada su abundancia, limpieza y la versatilidad técnica de su uso, es sin duda la fuente más prometedora en cuanto a la importancia relativa que puede alcanzar su consumo.
- En relación al corto y mediano plazo, la energía solar aparece con mayores posibilidades de satisfacer necesidades energéticas en el sector urbano, al que corresponde el grueso del consumo de petróleo. El sector rural consume fundamentalmente combustibles vegetales y por ello las formas de energía no convencional aplicables en este sector no adquieren gran importancia teniendo presente los objetivos de este trabajo.
- De las diferentes fuentes no convencionales, la tecnología de la energía solar es una de las que se encuentra en estado más avanzado de desarrollo y a su estudio es, tal vez, al que se destinan mayores esfuerzos tanto humanos como económicos. Por ello, es también en esta fuente donde pueden esperarse avances más rápidos para su aprovechamiento.

El análisis que sigue servirá de antecedente al estudio de factibilidad comercial que se hace para estas mismas aplicaciones en la sección V.

#### /1. Aspectos



## 1. Aspectos generales

El hombre, casi inconscientemente, ha hecho permanente uso a lo largo de su existencia de la energía solar para satisfacer sus necesidades esenciales de alimentación, agua dulce, calor y luz. En estas utilizaciones no se modificaba la forma natural como ella se presenta.

Hacia el Renacimiento se conocen los primeros estudios teóricos para utilizar la energía solar mediante artefactos creados por el hombre y, recién en los últimos años del siglo XVIII, se realizaron algunas aplicaciones útiles. Estas se basaban en la concentración del flujo solar mediante lentes. Un siglo más tarde se dio un paso importante al crearse el colector plano, que permite obtener calor a temperaturas reducidas ( $\ll 300^\circ$ ) con un costo inferior al obtenido con las lentes. Pero también por esos mismos años empezó la producción a escala creciente del petróleo, combustible que por sus ventajas económicas se convirtió rápidamente en el principal abastecedor de la demanda mundial de energía. Los artefactos solares fueron sustituidos por otros que utilizaban los derivados del petróleo y el gas natural y la investigación sobre la energía solar quedó rezagada en relación con la que se hacía con otras formas de energía.

Esta situación se mantuvo sin variaciones durante las siete primeras décadas del presente siglo. Los precios crecientes de la energía convencional registrados a partir de 1973, la escasez que se prevé afectará en un plazo relativamente corto al petróleo y a las otras fuentes de energía no renovables y los problemas de contaminación ambiental que ellas originan han hecho renacer el interés por esta forma de energía.

## 2. Características de la energía solar

La magnitud de la energía radiante del sol medida en el límite externo de la atmósfera terrestre sobre una superficie perpendicular al flujo es de  $1,94$  caloría-gramo/cm<sup>2</sup>/minuto y se la denomina constante solar. De esta energía, parte es reflejada por la atmósfera hacia el espacio exterior, parte es absorbida por las partículas que la constituyen

/y parte

y parte llega a la superficie terrestre, sea como radiación directa (rayos que no han sufrido desviación de su trayectoria) sea como radiación indirecta (rayos reflejados por las partículas atmosféricas). De este modo, en lugares con buena radiación sólo se puede disponer sobre una superficie horizontal de valores promedios para días sin nubes que no van más allá de 0.7 - 0.8 calorías-gramo/cm<sup>2</sup>/minuto.

Las regiones con mayor radiación son aquéllas ubicadas en las zonas tropical y sub-tropical (esta última especialmente), porque hay menos días nublados en el año; la dirección con que incide el flujo solar es más perpendicular a la superficie terrestre que fuera de esa región y el espesor de la atmósfera que debe atravesar el flujo solar es menor. Las regiones más favorecidas están ubicadas entonces entre unos 35º de latitud norte y sur. 1/ Entre los 35º y 45º se hace más notorio el efecto estacional sobre la radiación, detectándose inviernos con registros de ésta bastante inferior a la del verano. Más allá de los 45º se reducen considerablemente las posibilidades de utilizar esta energía, por lo menos con el estado actual de esta tecnología.

Una de las características más interesantes de la energía solar es su abundancia. La energía captada anualmente por la tierra representa aproximadamente  $10^8 \times 10^{12}$  t.e.p. lo que representa, por ejemplo, más de 18.000 veces el consumo total de energía registrado en el mundo en 1976 (5.815 millones de toneladas equivalentes de petróleo). Desde el punto de vista de la utilización que pueda hacer el hombre de esta energía, puede ser considerada inagotable.

Junto a estas características de abundancia y de relativa inagotabilidad, posee otras dos características valiosas: la limpieza de su utilización y su buena distribución geográfica. La escasa contaminación ambiental que originan sus aplicaciones es una propiedad que se irá apreciando cada vez con más interés. Su abundante disponibilidad sobre extensas regiones asegura abastecimiento energético a una gran cantidad de países, en su mayoría en estado de desarrollo, y permite que sea

---

1/ Por el norte, esta latitud queda fuera de América Latina y por el sur cruza al continente pasando cercanamente a las ciudades de Santiago y Buenos Aires.

captada en el lugar mismo donde se proyecta su utilización evitándose así las costosas inversiones en transporte de energía y las pérdidas que este proceso involucra.

Por otra parte, uno de los objetivos más importantes que satisface en la actualidad el consumo de energía es la producción de calor. En relación a ello, la energía radiante del sol es una de las formas de energía que más fácilmente puede ser transformada en él. De este modo, puede liberar del consumo a cantidades importantes de energía convencional que se destina actualmente a este uso y reservarla para fines que le son más específicos.

Desde el punto de vista de los países en desarrollo posee la ventaja no despreciable de requerir en la mayoría de sus aplicaciones de una tecnología relativamente sencilla. De este modo, la fabricación de los artefactos necesarios para su aprovechamiento puede ser enfrentada sin inconvenientes mayores por la industria local.

Frente a las propiedades mencionadas, netamente positivas, la energía radiante del sol posee otras dos características que perjudican considerablemente sus posibilidades de competencia comercial frente a la energía convencional: una es su reducida concentración en términos de unidades de energía por unidad de superficie de captación, y la otra es su variabilidad a lo largo del tiempo (noche-día, invierno-verano). Ello obliga a considerar proporcionalmente en el diseño de una instalación solar, grandes áreas de captación, dispositivos de almacenamiento de energía y, en algunos casos, mecanismos de orientación automática de las superficies captadoras en orden a mantener cierta relación con la dirección del flujo solar. Todo ello contribuye a elevar el costo de su aprovechamiento.

### 3. Campos de aplicación de la energía solar

La radiación del sol puede ser utilizada en una gran variedad de procesos y obtenerse de ellos diversas formas de energía. Entre ellas pueden mencionarse:

/a) Calor.

a) Calor. Permite obtener esta forma de energía a diversos niveles de temperatura:

- i) a temperaturas reducidas ( $< 80^{\circ}\text{C}$ ) que se obtienen fácilmente con colectores planos sencillos. El calor a este nivel de temperatura encuentra amplia aplicación en el calentamiento de agua con fines domésticos e industriales, calefacción de viviendas, oficinas, etc., secado de productos agrícolas, destilación de aguas salobres;
- ii) temperaturas intermedias (entre unos  $80^{\circ}\text{C}$  y  $250^{\circ}\text{C}$ ) cuya obtención se investiga en la actualidad con colectores planos adicionados con dispositivos que producen pequeña concentración u otras tecnologías. Tales instalaciones están especialmente indicadas en los procesos de refrigeración, aire frío para viviendas, producción de pequeñas potencias mecánicas y eléctricas y algunos procesos industriales, etc.;
- iii) a temperaturas elevadas ( $> 250^{\circ}\text{C}$ ). Estas temperaturas sólo se pueden obtener mediante sistemas ópticos de elevado factor de concentración. Tienen aplicación en la producción de energía eléctrica por conversión termodinámica, hornos metalúrgicos, etc. Con la tecnología disponible se han alcanzado temperaturas superiores a los  $3000^{\circ}\text{C}$ .

b) Energía eléctrica por conversión directa de la luz solar mediante el uso de células fotovoltaicas.

c) Energía química en forma de combustibles como el hidrógeno (resultado de la electrolisis del agua) o de otros como los originados en los procesos de fotosíntesis o de bioconversión.

Si bien los fundamentos técnicos de estas aplicaciones son conocidos desde hace décadas, su realización práctica en condiciones económicas no resulta factible todavía para la mayoría de ellas. Se

/exceptúan de

exceptúan de esta situación la producción de agua caliente para fines domésticos y la calefacción de viviendas, las cuales, bajo determinadas circunstancias ya pueden competir económicamente con algunas formas de energía convencional como la electricidad y, en casos muy especiales, con los derivados del petróleo. Asimismo, se investiga intensamente y pronto serán puestas en servicio centrales generadoras de energía eléctrica por conversión termodinámica de carácter experimental. 2/

A continuación se describirá someramente la tecnología utilizada actualmente en estas aplicaciones que parecen tener las mejores perspectivas económicas para el mediano plazo. Además, su investigación se encuentra más avanzada y pueden sustituir potencialmente a mayores volúmenes de energía convencional.

- Producción de calor a temperatura reducida

Para obtener esta forma de energía, la tecnología solar actual utiliza el colector plano. Este elemento consiste básicamente en una caja prismática térmicamente aislada en 5 de sus caras y la sexta, una de las de mayor superficie, cubierta con una o más láminas de vidrio. El colector se lo orienta de modo que la radiación solar penetre en él a través de la superficie con vidrio la mayor parte del día y en la forma más perpendicular posible. El vidrio tiene la propiedad de permitir fácilmente el paso de la energía radiante proveniente del sol, pero de dificultar considerablemente el paso hacia afuera de la energía calórica emitida por el colector (efecto "invernadero").

Dentro de la caja se coloca una placa, muchas veces fabricada con un material especial (placa selectiva) que es el elemento donde se transforma la energía radiante en calor. Parte de este calor es transferido a un fluido (normalmente agua o aire) que circula en íntimo contacto con ella a través de un serpentín que forma parte de la placa o está soldado a ella y cuyos extremos comunican el conjunto con el exterior de la caja.

---

2/ Utilizan agua u otro fluido a elevada temperatura y presión.

El rendimiento del colector plano, de gran importancia para analizar el beneficio económico de una instalación, queda determinado por sus características constructivas (calidad de la aislación, tipo de placa, número de cubiertas de vidrio, etc.), por la magnitud de la radiación incidente y por el aumento de temperatura que se quiere alcanzar en el fluido de trabajo. El rendimiento aumenta con la intensidad de la radiación <sup>3/</sup> y disminuye cuando aumenta la diferencia entre la temperatura del fluido al entrar al colector y la que tiene a su salida.

Las cifras de rendimiento promedio a lo largo del año bajo condiciones óptimas no supera el 50%.

La temperatura que alcanza el agua en el calentador solar es suficiente para la mayoría de las necesidades domésticas, incluyendo la calefacción. El porcentaje que se destina a satisfacer estos fines en países con inviernos muy fríos es considerable. En Estados Unidos, por ejemplo, se lo estima entre el 20 y el 25%; en Francia, en alrededor del 40% y en Gran Bretaña en casi el 50%. En países cálidos, como los latinoamericanos, los porcentajes son lógicamente mucho más reducidos.

Para satisfacer las necesidades de agua caliente domiciliaria y utilizando un esquema muy simplificado de la instalación, el líquido proveniente del colector solar es conducido a un estanque con buena aislación térmica donde se lo almacena y mantiene disponible para el consumo. En el caso de la calefacción, y también en un esquema igualmente simplificado, el agua caliente que proviene del estanque de

---

<sup>3/</sup> Sin embargo, el colector plano es utilizable todo el año ya que aprovecha tanto la radiación directa como la difusa. Obviamente, el rendimiento del colector es menor en los días nublados.

almacenamiento circula por radiadores ubicados en las habitaciones donde transfiere el calor al ambiente. <sup>4/</sup> Para los días de baja radiación se consulta normalmente el calentamiento del agua en el estanque con un calentador auxiliar convencional (a base de derivados o electricidad). Lo anterior destaca el hecho de que, económicamente, la energía solar no sustituye completamente a la energía convencional en estas aplicaciones. Para las condiciones imperantes en América Latina, esta sustitución podría variar entre un 70 a un 80%.

Desde el punto de vista económico, la producción de agua caliente para consumo es mucho más atractiva que la calefacción porque la instalación misma es más sencilla (menor costo inicial) y su demanda más uniforme a lo largo del año, lo que da a ésta un factor de utilización más elevado. Esto es importante considerando la elevada inversión inicial que estas instalaciones requieren. Además, debe tenerse presente que la necesidad de calefacción se origina precisamente porque la radiación solar es más reducida, lo que tiene el doble efecto de exigir mayor superficie colectora y de disminuir el rendimiento del colector.

Debe tenerse presente, por otra parte, las siguientes limitaciones al uso masivo de la calefacción solar: a) es una necesidad en limitados periodos y zonas de América Latina; b) la aplicación de la energía solar a esta finalidad exige casas especialmente diseñadas, lo que excluye prácticamente por el costo, su utilización en viviendas ya construídas; y c) que las casas diseñadas para energía solar son necesariamente más caras por su exigencia de material aislante y por el equipo solar. Estos factores constituyen un escollo grave para que esta tecnología quede al alcance de las grandes masas de la población.

---

<sup>4/</sup> Esta descripción corresponde al sistema de calefacción activa. Existe otro sistema de calefacción pasiva de viviendas basado en un adecuado diseño arquitectónico de ellas, orientación apropiada, buena aislación térmica en paredes, techo y suelo. En tales diseños puede asignarse a algunas paredes el papel de colector solar cubriéndolas con vidrio a cierta distancia formando una caja. El aire en la pared y el vidrio se calienta penetrando a la vivienda por la parte superior. Este aire es reemplazado por aire frío proveniente de la casa, que entra al colector por la parte inferior, a través de conductos especialmente consultados para este fin.

Por ello, no debe esperarse razonablemente que la calefacción de viviendas a base de energía solar llegue a penetrar muy considerablemente en la región en los próximos dos decenios.

Por los motivos señalados, la evaluación económica que se presenta en la sección V se limitará sólo a la instalación destinada a producir agua caliente para consumo.

- Producción de calor a elevada temperatura para producir electricidad

Debido a la naturaleza difusa de la radiación solar para obtener elevadas temperaturas en base a su utilización, necesariamente debe recurrirse a sistemas ópticos con factor de concentración elevada (lentes o espejos). En este procedimiento se aprovecha sólo la radiación directa (rayos paralelos) por lo que el elemento de captación debe variar continuamente su orientación conforme varía la dirección del flujo solar.

Por los elevados costos y dificultades técnicas que involucra la construcción de lentes, especialmente cuando deben tener dimensiones importantes, la tecnología solar actual de las elevadas temperaturas y grandes potencias se basa exclusivamente en el sistema de espejos. Existen diferentes diseños en esta materia. En este trabajo se describirá al sistema de campo de heliostatos y torre central porque parece tener mayores ventajas económicas que los otros y porque está siendo objeto de mayor experimentación en la actualidad.

Una central eléctrica solar por conversión termodinámica funciona según los mismos principios básicos de las centrales convencionales en base a combustibles fósiles en que la caldera convencional queda sustituida total o parcialmente por la instalación solar.

Esta instalación consiste fundamentalmente en un conjunto de heliostatos (espejos planos o casi planos provistos con un sistema automático de orientación) que permiten que los rayos paralelos provenientes del sol sean reflectados en todo momento y en cada uno

/de ellos



de ellos sobre la caldera solar, que es un dispositivo colocado en lo alto de una torre y dentro del cual circula el fluido de trabajo. El flujo convergente de todos los heliostatos sobre este dispositivo hace que la temperatura que se alcance en su interior sea considerable (entre unos 300°C y 500°C según las experiencias realizadas hasta la fecha). El vapor o gas a elevada presión que se obtiene es conducido hacia el grupo turbogenerador donde su energía cinética es transformada en energía eléctrica.

Siendo la producción de energía eléctrica una aplicación de gran interés de la energía solar, el desarrollo simultáneo de una tecnología de almacenamiento de energía calórica adquiere considerable importancia debido al hecho de que la mayor demanda de energía eléctrica ocurre normalmente después de la puesta del sol. En este sentido, un sistema de almacenamiento que permita el funcionamiento de la central durante unas 4 a 6 horas después de ese momento aumentaría considerablemente el atractivo de este tipo de centrales aunque también su costo.

Seccion IV

PERSPECTIVAS DEL CONSUMO ENERGETICO HACIA EL AÑO 2000

En este capítulo se hace una estimación del consumo de energía comercial en América Latina hacia fines del presente siglo. Dentro de él se determina la participación que le correspondería a los derivados del petróleo y en seguida se analizan las perspectivas de sustitución existentes de algunos derivados por la energía solar. En esta etapa sólo se consideran posibilidades técnico-económicas de sustitución en base a procesos existentes y otros que podrían desarrollarse en cierta escala durante las próximas dos décadas. Dado lo alejado del horizonte de proyección y las innovaciones que pueden producirse en esta era de rápido avance científico-técnico, no parece necesario que se insista en que cualquier intento para determinar el consumo de energía y más aún, de su desglose por fuentes abastecedoras y sectores de consumo irá acompañado por un apreciable grado de incertidumbre que deberá tenerse presente en todo momento.

A continuación se describe brevemente la metodología seguida:

- La proyección de la demanda de energía se la hizo separadamente para Argentina, Brasil, México, Colombia, Chile, Perú y Venezuela por constituir actualmente y muy probablemente también en el futuro considerado, los principales países consumidores de energía de la región. Bolivia y Ecuador fueron considerados en conjunto porque aunque tienen bajo consumo relativo de energía, se autoabastecen de hidrocarburos. Finalmente un grupo de 11 países constituidos por Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras, Nicaragua, Panamá, Haití, República Dominicana, Paraguay y Uruguay caracterizados por tener consumo relativamente reducidos y no producir hidrocarburos fueron considerados globalmente.

/- Las

- Las fuentes de energía comercial incluidas fueron: derivados del petróleo (gasolina, jet-fuel, gas-oil, diesel-oil, keroseno y fuel-oil), gas natural, gas licuado, carbón mineral y energía eléctrica de origen hidráulico, nuclear y geotérmico. Todas ellas fueron expresadas en una unidad calórica común, la tonelada equivalente de petróleo (t.e.p.) de 10.7 millones de kilocalorías tomando en cuenta los respectivos poderes calóricos en el caso de los combustibles fósiles y la energía calórica que habría sido necesario consumir en centrales termoeléctricas convencionales en el supuesto de que toda la energía eléctrica generada de origen hidráulico, nuclear y geotérmico se hubiera producido en ellas. En relación a este último punto se consideraron los rendimientos específicos de sistemas térmicos de varios países latinoamericanos y su evolución en el período.
- Respecto de la metodología misma, tomando en cuenta la estrecha relación que existe entre la demanda total de energía (D), el producto interno bruto (P) y el tiempo (T) se experimentaron algunas relaciones matemáticas entre estas tres variables utilizando series de observaciones correspondientes al período 1950-1973, determinándose los parámetros de las relaciones de acuerdo al método de los cuadrados mínimos. En estas ecuaciones se consideró a D como la variable dependiente y a P y T como las variables independientes o explicativas. De acuerdo a los coeficientes de determinación obtenidos para cada una de ellas se seleccionó, en la totalidad de los casos a la ecuación  $D = a + bP + cT$  como la superficie (plano) de mejor ajuste a los valores observados. Para tener en cuenta la influencia del precio del petróleo sobre el consumo, y ante la carencia de información histórica sobre la materia, el plano de proyección adoptado en definitiva fue uno paralelo al anterior trazado por el punto representativo de los años 1975 y 1976.

- Los valores históricos del producto interno bruto corresponden a una serie elaborada en la CEPAL y están expresados en dólares de 1970. La estimación de los productos internos brutos en los países y grupos de países señalados para el año 2000 se basó en 3 hipótesis de crecimiento formuladas también en la CEPAL. Dado los objetivos de este trabajo sólo se consideró la hipótesis que conduce a un mayor consumo de derivados en América Latina y, en consecuencia, determinan la potencialidad máxima de la fuente solar como sustituto de ellos.

- Para distribuir el consumo total de energía comercial en el año 2000 según las fuentes abastecedoras previstas se adoptaron las siguientes hipótesis:

i) Tres de las fuentes primarias señaladas (hidráulica, nuclear y geotérmica) estarán siendo utilizadas exclusivamente en la producción de energía eléctrica y una cuarta, el carbón mineral, en la producción de energía eléctrica y en la industria siderúrgica. Para evaluar el aporte de cada una de estas cuatro fuentes al abastecimiento energético del año 2000, se consideraron los programas oficiales tentativos de instalación de nuevas centrales generadoras de energía eléctrica por una parte y una proyección de la producción de acero para ese año preparada por la División de Recursos Naturales y Medio Ambiente de la CEPAL. En relación a este último punto, se asoció a la producción de acero cifras de consumo específico de carbón mineral (0.9 ton. de carbón por ton. producida de acero) y se tuvo presente el desarrollo probable de procesos que utilizan gas natural y carbón vegetal. Disponiendo de la capacidad instalada estimada para el año 2000 desglosada en hidroeléctrica, geotérmica, nuclear, térmicas a carbón y térmicas a base de carbón mineral se calculó la generación correspondiente a ese año en base a 4 000 horas de funcionamiento anual para las centrales hidroeléctricas,

6 000 para las nucleares y geotérmicas y 2 500 horas para las térmicas a carbón. Se supuso en los cálculos, para expresar los kilowatts-horas en t.e.p. que el consumo específico actual de 3 200 kcal por kWh generado se reducirá en el año 2 000 a una cifra parecida a la que actualmente registran en promedio los países de la OECD: 2 500 kcal en cifras redondas.

- ii) La demanda de hidrocarburos (derivados del petróleo y gas natural) se la obtuvo como diferencia entre la demanda total de energía comercial y la demanda que sería abastecida por las cuatro fuentes anteriores. Para desglosar el consumo de gas natural se utilizaron fundamentalmente estimaciones hechas por organismos nacionales especializados. Ellas muestran una orientación hacia una mayor participación del consumo de este combustible dentro del consumo total de hidrocarburos originada a la vez en su mejor aprovechamiento (parte de su producción actual se pierde por falta de mercado consumidor) y en una mayor sustitución del consumo de derivados por el mismo gas natural y por otras fuentes.

Una vez separado el consumo probable de derivados del consumo total de energía comercial, se analizó para cuales de ellos existen, o podrían existir a mediano plazo, tecnologías comerciales de sustitución basadas en el uso de la energía solar. El cuadro 15 muestra a grandes rasgos las formas de energía final que se consumen y las fuentes primarias o secundarias donde pueden originarse. Este cuadro permite fijar en forma tentativa las posibilidades a corto y mediano plazo de esta energía y concretamente en relación a los derivados del petróleo. Para los carburantes (gasolina, jet fuel, gas-oil y diesel-oil) utilizados en el sector transporte, no se dispone en la actualidad de tal tecnología solar (ni basada en otras fuentes) y se ha aceptado como poco probable que éstas puedan ser desarrolladas en gran escala en los próximos dos decenios <sup>1/</sup>. En cambio, para los otros dos derivados de importancia: el fuel-oil y el keroseno, utilizados para producir elevadas temperaturas

<sup>1/</sup> A escala más limitada, en Brasil se viene realizando desde algunos años un programa para incorporar alcohol a la gasolina.

Cuadro 15

AMERICA LATINA: FUENTES ENERGETICAS Y FORMAS DE ENERGIA PARA CONSUMO FINAL  
QUE PUEDEN PROPORCIONAR ECONOMICAMENTE EN LA ACTUALIDAD

Fuente	Calor		Energía mecánica	Energía eléctrica
	Temperatura baja y media	Temperatura elevada		
Gasolina	-	-	x	-
Jet fuel	-	-	x	-
Diesel oil	-	-	x	x
Fuel oil	-	x	-	x
Keroseno	x	-	-	-
Gas licuado	x	-	-	-
Gas natural	x	x	-	x
Carbón mineral	-	x	-	x
Fuerza hidráulica	-	-	-	x
Combustibles vegetales	x	-	-	x
Energía nuclear	xb/	-	-	x
Energía del viento	-	-	x	x
Energía geotérmica	x	-	-	x
Energía eléctrica	-	x	x	-

el primero y moderadas temperaturas el segundo, se dispone ya de tecnologías solares bastante desarrolladas, no siempre comerciales en la actualidad, pero que pueden llegar a serlo en el mediano plazo.

Como es en este último grupo de derivados donde puede existir mayor factibilidad comercial de sustitución, resulta útil estimar su consumo hacia el año 2000 ya que éste determinará la potencialidad máxima de la energía solar como sustituto económico del petróleo hasta ese año.

Para efectuar el desglose señalado, se analizó la participación del fuel-oil y del keroseno dentro del consumo total de derivados a lo largo del período 1950-1976. En el transcurso de aquel, se observa una disminución continua de esa participación desde el 58% hasta el 38%. Tal descenso se originó a la vez en el crecimiento más dinámico del consumo de carburantes, 2/ es su mayor rigidez para ser sustituidos por otras fuentes, y en la facilidad que ofrecen el fuel-oil y el keroseno para ser sustituidos (y de hecho lo han venido siendo) por el gas natural el primero y por el gas licuado el segundo.

Debido a esta facilidad de sustitución, esta participación debe continuar disminuyendo en el futuro. En efecto, por una parte, no parece probable que se interrumpa este proceso de sustitución dadas sus ventajas económicas y de comodidad de uso. Por otra parte, dadas las nuevas condiciones imperantes, es muy probable, y ya está consultado en varios casos, el reemplazo del fuel-oil por carbón mineral en procesos mineros e industriales en aquellos países que disponen de este combustible. Finalmente, de acuerdo a los programas de equipamiento formulados para la industria generadora de electricidad, la tasa de crecimiento del consumo del fuel-oil en esta industria deberá disminuir drásticamente de aquí a fines del siglo como consecuencia de un desarrollo intensificado de la hidroelectricidad y energía nuclear. En la actualidad aproximadamente la tercera parte del consumo total de este derivado se lo hace en la industria eléctrica.

---

2/ El consumo de carburantes creció en 1950-1976 con una tasa promedio anual del 7.8%. El de fuel-oil y keroseno creció al 4.9%. Si a estos últimos se agrega el consumo de gas natural y gas licuado, la tasa de crecimiento resultante alcanza al 7.2%.

Junto a lo anterior, la hipótesis adoptada de que se mantendrá la rigidez de los carburantes en el mediano plazo para ser sustituidos por otras fuentes, hace coherente el descenso previsto.

A falta de otros elementos de juicio más satisfactorios para determinar la importancia que tendrán el fuel-oil y el keroseno dentro del consumo total de derivados en el año 2000, se extrapoló haciéndola más acentuada, la tendencia decreciente observada en cada uno de los países y grupos de países considerados. La adopción de este criterio condujo a un consumo conjunto de fuel-oil y keroseno en el año 2000 de 140 millones de t.e.p., que involucra un crecimiento acumulativo promedio anual para 1976-2000 del 3.5% en comparación con el 4.9% registrado en el período 1950-1976.

Los resultados de esta estimación, junto con los obtenidos anteriormente para las otras fuentes energéticas aparecen integrados en el cuadro 16, que constituye el resultado final de la proyección del consumo de energía comercial para el año 2000.

En relación al fuel-oil su reemplazo progresivo como insumo en la industria eléctrica ya ha sido considerado a través de los programas de equipamiento eléctrico. En consecuencia, la utilización de este combustible hacia fines del siglo corresponderá fundamentalmente a la que estará haciendo el sector industrial no eléctrico.

Ahora bien, económicamente, las posibilidades de aplicación de la radiación solar en este sector aparecen disminuidas en aquellos casos en que las necesidades de energía son de elevada potencia y concentración o cuando ella deba ser proporcionada en forma continua. Ejemplos de este grupo son las industrias del cemento, vidrio, cerámica, metalúrgica, metales, etc. Para satisfacer las condiciones señaladas con energía solar se necesitaría disponer, fuera de las condiciones meteorológicas y de espacio adecuadas, de dispositivos de concentración y almacenamiento de energía. Estas tecnologías se encuentran actualmente en la etapa de experimentación y orientada más bien a la generación de energía eléctrica. En todo caso, se espera que ellas estarían suficientemente desarrolladas y probadas recién en los años 90 por lo que su adaptación al sector industrial y su adopción por la



Cuadro 16

AMERICA LATINA: ESTIMACION DEL CONSUMO DE ENERGIA COMERCIAL POR FUENTES, 2000

(Millones de toneladas equivalentes de petróleo)

País	Hidráulica	Geotérmica	Nuclear	Carbón mineral	Gas natural	Derivados del petróleo		Total
						Fuel-oil y keroseno	Total	
Argentina	20.6	-	11.2	8.1	22.6	9.7	32.2	96.5
Brasil	102.8	-	77.1	12.5	5.5	43.3	164.7 <sup>a/</sup>	367.2
México	22.4	7.7	37.0	15.2	110.8	47.7	159.1	359.2
Colombia	20.5	-	-	3.8	7.2	6.3	20.9	53.1
Chile	6.9	0.1	1.9	2.5	2.6	5.0	14.3	29.0
Perú	10.9	-	-	2.1	2.4	5.4	13.6	29.3
Venezuela	23.4	-	-	-	98.9	7.8	64.7	188.3
Bolivia y Ecuador	6.8	-	-	-	0.9	3.5	11.6	19.4
Otros	20.0	1.4	0.7	-	-	11.5	38.3	60.8
<u>Total</u>	<u>234.3</u>	<u>9.2</u>	<u>127.9</u>	<u>44.2</u>	<u>250.9</u>	<u>140.2</u>	<u>519.4</u>	<u>1 202.8</u>

Fuente: Estimaciones preliminares de la CEPAL.

a/ El valor original fue reducido en 8.6 millones de t.e.p. en que se estimó sería el consumo de alcohol mezclado con la gasolina.

industria latinoamericana parece poco probable que se produzca en el presente siglo. Por lo demás parece más técnica y comercialmente factible que, en estos casos, el fuel-oil sea reemplazado por otros energéticos como el gas natural, carbón mineral, gas licuado o la energía eléctrica. Probablemente esa sea la situación que impere en el mediano plazo.

En cambio, cuando la demanda industrial de energía lo es en forma de agua caliente a temperaturas menores que unos 200°C <sup>3/</sup> o de calor para evaporar el agua de soluciones salinas, la energía solar parece adaptable sin problemas técnicos mayores. De hecho, ya ha sido utilizada en otras regiones para satisfacer necesidades energéticas en procesos industriales textiles y de alimentos y, en América Latina, en la extracción de la sal común y del salitre. Otras industrias donde podría ser utilizada la tecnología solar de las temperaturas moderadas serían las de fertilizantes, papel y celulosa, química, petrolera, etc. Pero, desde luego, el agua caliente a temperaturas reducidas (< 80°C) sería utilizable en la totalidad del sector industrial en fines de higiene y en la preparación de alimentos para el personal.

En cuanto al keroseno, este derivado es utilizado principalmente por el sector doméstico para producir agua caliente, calefaccionar viviendas y servir como fuente de calor en la cocina. Como se dijo, se dispone ya de tecnología probada para producir agua caliente utilizando energía solar y, en menor grado, para la calefacción ambiental. No sucede lo mismo en la aplicación de esta energía a la cocción de alimentos, finalidad para lo cual no ha sido desarrollada, hasta la fecha, ninguna tecnología plenamente satisfactoria.

Resulta difícil señalar cifras respecto de la posible penetración de la energía solar como sustituto del fuel-oil y del keroseno en los sectores industrial y doméstico en lo que resta del siglo. Existe evidentemente un mercado potencial relativamente amplio para que

---

<sup>3/</sup> La tecnología correspondiente es algo más compleja que la de los colectores planos sencillos utilizados en la producción de agua caliente a temperatura reducida. Ella requiere ya de cierta concentración del flujo solar y/o de reorientación del elemento captador.

ello ocurra. Sin embargo, la cuantía con que se introduzca esta tecnología estará condicionada por una serie de factores entre los cuales el más importante es su factibilidad comercial y el momento en que ella se produzca, además de posibilidades de financiamiento, confianza en la nueva tecnología, etc. Algunos de esos factores son difíciles de evaluar. Por ello, no se tratará de cuantificar estas posibilidades de penetración porque ello necesariamente adquiriría un carácter demasiado arbitrario.

Es necesario sí, tener presente un aspecto adicional de la utilización de la energía solar. En general, el diseño de las instalaciones solares no consulta la sustitución completa de la energía convencional sino solamente una fracción de ella que, para las condiciones latinoamericanas podría fluctuar entre un 70 a un 80%.

De este modo, cualquier cifra sobre potencialidad máxima de la energía solar como sustituto del petróleo, o sobre la requerida por cualquier proceso donde se proyecte su uso, debe ser afectada por un factor menor que la unidad.

En resumen, las conclusiones que pueden extraerse de este trabajo de proyección son las siguientes:

1. El petróleo continuará siendo la principal fuente de abastecimiento de energía comercial en América Latina en el año 2000 si bien su contribución al consumo total decrecería desde el 53% registrado en 1976 hasta el 43% hacia fines de este siglo.

La forma como esta dependencia afectará a los países con producción deficitaria o nula de este combustible dependerá, entre otros factores, de la trayectoria que siga el precio internacional del petróleo, de las políticas que se adopten sobre prospección de nuevos yacimientos y del éxito que se obtenga en ellas.

Pero, en general, es probable que en varios países se acentúen los efectos negativos que la importación de petróleo ha tenido en los últimos años.

Respecto a la contaminación ambiental, ésta obviamente crecerá conforme crezca el consumo de derivados y sus efectos pueden llegar a ser críticos en algunas ciudades si no se adoptan medidas adecuadas para evitarlo.

2. La mantención de la dependencia del petróleo a niveles relativamente elevados se origina fundamentalmente en el consumo de los carburantes (gasolina, jet-fuel, gas-oil y diesel-oil) para los cuales no existen<sup>4/</sup> ni se prevén sustituciones significativas por energía solar u otras fuentes en los próximos 20 años. Estos derivados constituirían casi las tres cuartas partes del consumo de derivados en el año 2000 (unos 380 millones de t.e.p.).

3. En el caso de los combustibles (fuel-oil y keroseno) desde varios años se observa su sustitución violenta por el gas natural y gas licuado la que en los próximos años se acentuaría por el reemplazo que ocurrirá en la industria eléctrica del fuel-oil por la hidroelectricidad, energía nuclear, gas natural y energía geotérmica. Además, la industria y minería reemplazará al fuel-oil por carbón mineral en varios de sus procesos. Por ello, debe esperarse que el consumo de fuel-oil reduzca su tasa de crecimiento y se estima que éste no sobrepase la cuarta parte del consumo total de derivados en el año 2000 (unos 140 millones de t.e.p.).

4. Es en el sector industrial y doméstico donde la energía solar tiene mejores perspectivas técnico-económicas de entrar en mayor escala y en un plazo más corto. La potencialidad técnico-económica máxima de sustitución del fuel-oil y keroseno por esta energía puede ser estimada en 140 millones de t.e.p. Sin embargo, por diversos factores como las características de equipo mixto solar-convencional que poseen las instalaciones solares, la posibilidad de que algunas aplicaciones no alcancen la factibilidad comercial dentro del período o lo hagan hacia el final de él, posibles dificultades de financiamiento, tiempo requerido para que la tecnología solar sea aceptada y adoptada por los usuarios, etc., la penetración efectiva de la energía solar como sustituto del petróleo debe, sin duda, alcanzar cifras más reducidas.

<sup>4/</sup> Salvo la técnica de incorporar alcohol a la gasolina ya mencionada.

Sección V

EVALUACION DE LA FACTIBILIDAD COMERCIAL DE ALGUNAS  
APLICACIONES DE LA ENERGIA SOLAR

Una de las conclusiones del capítulo anterior fue que los sectores industrial y doméstico, consumidores de fuel-oil y keroseno respectivamente, presentaban condiciones más favorables para la introducción de la tecnología solar en los años que restan del presente siglo. Sin embargo, se estimaba que, por diversas razones, ello podría ocurrir sólo en forma limitada. Se individualizaron a la producción de agua caliente a temperatura reducida y a la producción de energía eléctrica por conversión termodinámica como las aplicaciones más promisorias por el grado de avance que ha alcanzado la investigación y por la importancia que representan dentro de la demanda energética. En menor grado, se consideró con posibilidades técnico-económicas la aplicación de la energía solar en algunos procesos industriales donde se requiere calor a menos de unos 200°C.

Siendo la factibilidad comercial un factor de gran importancia para la incorporación de la energía solar al abastecimiento energético, en el presente capítulo se aborda su análisis en forma simplificada, en los tres objetivos señalados.

Como en cualquier evaluación de proyectos con implicancias nacionales la ventaja de utilizar la energía solar debe ser considerada desde el punto de vista del inversionista particular (factibilidad comercial), y también desde el punto de vista del planificador público (factibilidad económica nacional). Al inversionista particular sólo le resultará atractivo el uso de equipos solares si con ello obtiene ventajas económicas en relación a su inversión. En cambio, al planificador público le interesará también otros aspectos como su efecto sobre la balanza comercial, sobre la seguridad del abastecimiento energético, sobre la demanda de trabajo en el país, etc.

/Para el

Para el análisis de factibilidad comercial <sup>1/</sup> se utilizará el concepto de la tasa interna de retorno del proyecto. El análisis tendrá un carácter general, o sea, no se evaluará el proyecto para las condiciones existentes en determinados lugares, sino que se considerarán el conjunto de valores en los parámetros que intervienen que son más favorables a la energía solar. Entre ellas se considerarán, por ejemplo, valores de radiación solar equivalentes a los máximos conocidos en la región y con distribución uniforme a lo largo del año; elevado valor para el rendimiento promedio anual del colector, costo mínimo para la instalación solar dentro de su rango de variación de costos; tasas de interés del dinero reducidas. Además, de las diversas hipótesis formuladas sobre crecimiento del precio internacional del petróleo, se adoptará la que postula crecimientos mayores. Si la energía solar no resulta económica bajo estas condiciones ideales óptimas, obviamente no lo será en ninguna situación real.

De los supuestos anteriores, tal vez sea necesario explicar la razón de adoptar una reducida tasa de interés del dinero y un aumento acelerado en el precio del petróleo. Esta es, que el proyecto solar requiere de una inversión inicial relativamente muy elevada, mientras que sus costos de operación a lo largo de su vida útil son reducidos. De este modo, mientras menor sea la tasa de interés que se adopte y mayor el precio de la energía convencional, mayor será la ventaja económica de utilizar el equipo solar como sustituto.

Se señaló antes que normalmente el diseño de la instalación solar debe ser mixto para alcanzar ventajas económicas máximas. Ello significa que sólo una parte de la demanda es satisfecha con energía solar pues, en los días con menor radiación se debe recurrir a una instalación auxiliar que funciona con otra forma de energía. En el fondo, lo que se persigue no es sustituir la mayor cantidad de energía convencional, sino que la sustitución se haga en la forma más

---

<sup>1/</sup> Que será el que se desarrollará en este trabajo.

económica posible (de interés, principalmente para el inversionista particular). A pesar que las hipótesis adoptadas excluyen la instalación auxiliar, se desea dejar constancia de esta situación.

De acuerdo a los antecedentes expuestos, en la determinación de la tasa interna de retorno intervendrán diversos parámetros que se señalan a continuación con el símbolo correspondiente. Los sub-índices s, a y d se refieren respectivamente a la instalación solar, auxiliar y alternativa a base de derivados. Las cifras de costos y precios se expresarán en dólares de 1978.

$I_s, I_a, I_d$	Inversión inicial en los equipos (US\$)
$M_s, M_a, M_d$	Costo de operación y mantención anuales excluyendo combustibles (US\$)
$V_s, V_a, V_d$	Años de vida útil de los equipos
$\eta_s, \eta_a, \eta_d$	Rendimientos promedio anual de los equipos (%)
R	Promedio diario anual de la radiación solar ( $\text{kCal}/\text{m}^2/\text{día}$ )
$P_d$	Precio inicial del millón de kCal utilizando derivados (US\$) en el equipo alternativo
$P_a$	Precio inicial del millón de kCal en el equipo auxiliar (US\$)
t	Tasa promedio anual de incremento del precio en términos reales de los derivados (%)
t'	Tasa promedio anual de incremento del precio en términos reales de la energía utilizada por el equipo auxiliar (%).
D	Demanda anual de energía calórica en el proceso (kCal)
q	Porcentaje de la demanda energética satisfecha por la energía solar (%)

/La tasa

La tasa interna de retorno  $f$  está definida por la relación

$$\sum_{j=i}^j \frac{E_j - F_j}{(1+f)^j} = I_s + I_a \quad (1)$$

en que:

$E_j$  = Ingresos anuales del proyecto en el año  $j$

$F_j$  = Egresos anuales del proyecto en el año  $j$

y en que  $v$  e  $I$  tienen los significados ya señalados.

A. Tasa interna de retorno en instalaciones solares destinadas a obtener agua caliente a baja temperatura

El uso del keroseno con fines de obtener agua caliente se limita casi exclusivamente al que se hace en algunas viviendas modestas donde los volúmenes producidos son por lo general reducidos. En los sectores económicos con mayores ingresos, la parafina ha sido sustituida casi totalmente por el gas licuado, el gas de cañería y la energía eléctrica. Por ello, el mercado potencial de la energía solar como sustituto del keroseno para producir agua caliente a temperaturas moderadas es más bien limitado.

A pesar de ello, se hará la evaluación económica, considerando que esta tecnología es una de las más ventajosas de la energía solar desde este punto de vista y que sus resultados son muy significativos para considerar la economía de otra tecnología muy relacionada con ella, la calefacción de viviendas, que sí hace importante consumo de keroseno.

Se analizará separadamente el significado que cada uno de los términos de la ecuación (1) tienen en este caso.

Los costos de operación y mantención del equipo solar y auxiliar se los estimará del orden del 2% de la inversión inicial y del 20% en el equipo alternativo ( $M_s + M_a = 0.02 (I_s + I_a)$  y  $M_d = 0.2 I_d$ ). Se supondrá además, que la vida útil de los equipos cubrirá un período de unos 10 años.

/Ej. Este



Ej. Este parámetro representa el costo de la energía a base de derivados que ahorra anualmente la instalación solar. Su expresión general es:

$$E_j = \frac{q}{100} \times \frac{D}{\eta_d} \times \frac{1}{10^6} \times P_d (1+t)^j + I_d (1+0.2)^j \text{ (US\$)}$$

F<sub>j</sub> Los egresos anuales estarán constituidos por el interés anual del capital invertido en la instalación solar (incluido el equipo auxiliar) más los costos de operación y mantenimiento. La expresión general de F<sub>j</sub> es:

$$F_j = (I_s + I_a) (1+0.02)^j i + \frac{100-q}{100} \frac{D}{\eta_a} \frac{1}{10^6} P_a (1+t')^j \text{ (US\$)}$$

El valor de I<sub>s</sub> se lo obtendrá dimensionando la instalación solar. Si:

A = Superficie requerida en colectores (m<sup>2</sup>)

ε = Porcentaje de pérdida calórica en la instalación solar.

se puede escribir la siguiente relación:

$$R \cdot A \cdot \eta_s \cdot 365 \cdot (1 - \frac{\epsilon}{100}) = \frac{q}{100} \times D$$

de donde:

$$A = \frac{q \cdot D}{365 \times 100 \times R \times \eta_s \times (1 - \frac{\epsilon}{100})}$$

Si c es el costo de la instalación por m<sup>2</sup> de colector (incluyendo almacenamiento, cañerías, aparatos de control, etc.), será

$$I_s = A \cdot c$$

$$I_s = \frac{q \cdot D \cdot c}{365 \times 100 \times R \times \eta_s \times (1 - \frac{\epsilon}{100})} \quad (2)$$

Reemplazando los valores de E<sub>j</sub> y F<sub>j</sub> en (1) se obtiene:

$$\sum_{j=1}^n \frac{\frac{q \cdot D}{100 \eta_d} \frac{1}{10^6} P_d (1+t)^j + I_d (1+0.2)^j i - (I_s + I_a) (1+0.02)^j i - \frac{100-q}{100} \frac{D}{\eta_a} \frac{1}{10^6} P_a (1+t')^j}{(1+f)^j} = I_s + I_a$$

/Para simplificar

Para simplificar se supondrá  $t = t'$ . Desarrollando la sumatoria se obtiene:

$$\frac{D}{100 \times 10^6} \left[ \frac{q \cdot P_d}{\eta_d} - \frac{(100-q)P_a}{\eta_a} \right] \frac{1+t}{t-\rho} \left[ \frac{(1+t)^v - (1+\rho)^v}{(1+\rho)^v} \right] - i \left[ 1.02(I_s + I_a) - 1.2I_d \right]$$

$$\left[ \frac{(1+\rho)^v - 1}{\rho(1+\rho)^v} \right] = I_s + I_a \quad (3) \underline{2/}$$

Utilizando la ecuación (3) se calculará la tasa interna de retorno de una instalación solar destinada a producir unos 50 litros diarios de agua caliente a 60°C suponiendo que la temperatura promedio del agua fría es igual a 10°C.

El valor de D es entonces:

$$D = 50 \times 50 \times 365 = 0.91 \times 10^6 \text{ (kCal)}$$

En el cuadro que sigue se indican los valores que se adoptarán para los otros parámetros:

2/ La ecuación (3) con algunas transformaciones se puede escribir como:

$$\frac{X-Y}{1+\rho} + \frac{X(1+t)-Y}{(1+\rho)^2} + \frac{X(1+t)^2-Y}{(1+\rho)^3} + \dots + \frac{X(1+t)^{v-1}-Y}{(1+\rho)^v} = I_s + I_a$$

$$\text{siendo } X = \frac{D(1+t)}{100 \times 10^6} \left[ \frac{q \cdot P_d}{\eta_d} - \frac{(100-q)P_a}{\eta_a} \right] \quad (4)$$

$$Y = \left[ 1.02(I_s + I_a) - 1.2 I_d \right] i$$

La ecuación (4) permite, a veces, calcular más fácilmente el valor de  $\rho$ .

/R =

	<u>1978</u>	<u>2000</u>
R = 5000 (kCal/m <sup>2</sup> /día)	c = 160 a/ US\$/m <sup>2</sup>	c = 130 b/ US\$/m <sup>2</sup>
s = 0.40	P <sub>d</sub> = US\$11 c/ y US\$28 d/	P <sub>d</sub> = US\$22 y US\$56
ε = 0.15	por 10 <sup>6</sup> kCal	por 10 <sup>6</sup> kCal
q = 100	i = 0.10, 0.15 y 0.20	i = 0.10, 0.15 y 0.20
t = 0.033 (duplicación cada 22 años)		
V <sub>s</sub> = V <sub>d</sub> = 10 años		
γ <sub>d</sub> = 0.80		
I <sub>d</sub> = 30 (US\$)		

a/ En base a "Energy for Rural Development" editado por la National Academy of Sciences, Washington, 1976.

b/ Suponiendo un decrecimiento de 1% acumulativo anual en relación a 1978.

c/ Corresponde a US\$ 0.10/litro (keroseno).

d/ Corresponde a US\$ 0.25/litro (keroseno).

Nota: Las cifras indicadas en b/ y c/ se adoptaron como representativas de las existentes en la región a fines de 1978. Estas eran las siguientes: Argentina, 0.19; Brasil, 0.25; Chile, 0.15; Uruguay, 0.22; Bolivia, 0.02; Colombia, 0.08, México, 0.02; Perú, 0.03; y Venezuela, 0.03.

Fuente: ARPEL, Noticias Nº 23, diciembre 1978.

Los resultados obtenidos para las diferentes alternativas se agrupan a continuación:

	1978						2000					
	Precio del Keroseno			Precio del Keroseno			Precio del Keroseno			Precio del Keroseno		
Costo de instalación solar	US\$11/10 <sup>6</sup> kCal			US\$28/10 <sup>6</sup> kCal			US\$22/10 <sup>6</sup> kCal			US\$56/10 <sup>6</sup> kCal		
	Tasa de interés			Tasa de interés			Tasa de interés			Tasa de interés		
	i=0.10	i=0.15	i=0.20	i=0.10	i=0.15	i=0.20	i=0.10	i=0.15	i=0.20	i=0.10	i=0.15	i=0.20
US\$ 160/m <sup>2</sup>	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-
US\$ 130/m <sup>2</sup>	-	-	-	-	-	-	+	+	+	0.26	0.22	+

+ = Tasa interna de retorno incompatible con la tasa de interés adoptada.

/Se observa

Se observa como adoptando un conjunto de hipótesis favorables a la energía solar, ésta no es económica en la actualidad en relación al keroseno para producir agua caliente a baja temperatura. Si en el año 2000 se duplicaran los precios reales del keroseno y se redujera a la mitad el costo de la instalación solar por  $m^2$ , la energía solar aparece como económica sólo para el valor máximo del keroseno y para tasas de interés inferiores al 15% aproximadamente.

B. Tasa interna de retorno para instalaciones solares destinadas a obtener agua caliente a temperaturas intermedias con fines industriales

En este caso se requiere un tipo de colector solar que concentre en cierto grado el flujo solar. Como la necesidad de agua caliente es mayor y la temperatura más elevada, también la superficie en colectores deberá ser mayor. Este hecho puede llegar a ser importante por la ubicación de las industrias generalmente cerca de los centros poblados y donde el terreno alcanza precios más subidos. De este modo, la instalación solar tiende a encarecerse por este concepto.

El procedimiento para calcular la tasa interna de retorno será el mismo seguido anteriormente, utilizándose la misma simbología. Algunos parámetros tendrán ahora, obviamente, otros valores. El rendimiento  $\eta_s$ , dadas las condiciones favorables de existencia y distribución de la radiación solar adoptadas, se lo considerará igual a 0.50. Del mismo modo, las pérdidas  $\xi$  en la instalación deben incrementarse en relación al caso anterior debido a las mayores temperaturas (aumento del calor irradiado por todo el sistema) y a la mayor longitud de cañerías. Se adoptará el valor 0.20 para ese coeficiente.

La tasa interna de retorno se calculará para una instalación solar que reemplace a una caldera tradicional con potencia  $3 \times 10^6$  kCal/hora y rendimiento  $\eta_d = 0.80$  (utilizable en muchas industrias). El costo de esta unidad, instalada, es de unos US\$ 110.000 2/ aproximadamente.

---

2/ US\$ 73.000, FOB, más 15-20% de flete y seguro, 20% IVA y US\$ 7.000 de montaje. (Información proporcionada por una firma especializada en el rubro válidas en Chile.)

Si la caldera funciona 8 horas diarias y 300 días en el año, la producción anual de energía convencional será:

$$D = 300 \times 8 \times 3 \times 10^6 \text{ (kCal)} = 7200 \times 10^6 \text{ kCal}$$

El conjunto de parámetros es ahora:

	1978	2000
$R = 5000 \text{ (kCal/m}^2\text{/día)}$	$c = \text{US\$}200 \text{ a//m}^2$	$c = \text{US\$}100 \text{ a//m}^2$
$\eta_s = 0.50$	$P_d = \text{US\$}5 \text{ b/ y US\$}15 \text{ c/}$	$P_d = \text{US\$}10 \text{ y US\$}30$
$V_s = V_d = 20 \text{ años}$	por $10^6 \text{ kCal}$	por $10^6 \text{ kCal}$
$\xi = 0.20$	$i = 0.10, 0.15 \text{ y } 0.20$	$i = 0.10, 0.15 \text{ y } 0.20$
$q = 100$		
$t = 0.033$		
$\eta_d = 0.80$		
$I_d = 110.000 \text{ (US\$)}$		

a/ Valor obtenido de la publicación "Solar Energy, a Status Report", editado por el U.S. Department of Energy, junio, 1978.

b/ Corresponde a US\$ 0.05/litro de fuel-oil.

c/ Corresponde a US\$ 0.15/litro de fuel-oil.

Nota: Las cifras indicadas en b/ y c/ se adoptaron como representativas de las existentes para el fuel-oil en la región a fines de 1978. Estas eran las siguientes: Argentina, 0.05; Brasil, 0.06; Chile, 0.14; Colombia, 0.04; Ecuador, 0.02; México, 0.01; Perú, 0.08; Venezuela, 0.01.

Fuente: ARPEL, Noticias No 23, diciembre, 1978.

El costo de la instalación solar estimado para los años 1978 y 2000 es:

$$I_s (1978) = \frac{100 \times 7200 \times 10^6 \times 200}{300 \times 100 \times 5000 \times 0.50 \times 0.80} = \frac{144.000.000 \times 10^6}{60.000.000} = 2.40 \times 10^6 \text{ (US\$)}$$

$$I_s (2000) = 1.20 \times 10^6 \text{ (US\$)}$$

Los resultados correspondientes a las diversas alternativas se muestran en el cuadro que sigue:

Costo de la instalación solar	1978						2000					
	Precio del fuel-oil US\$5/10 <sup>6</sup> kCal			Precio del fuel-oil US\$15/10 <sup>6</sup> kCal			Precio del fuel-oil US\$10/10 <sup>6</sup> /kCal			Precio del fuel-oil US\$30/10 <sup>6</sup> kCal		
	Tasa de interés			Tasa de interés			Tasa de interés			Tasa de interés		
	i=0.10	i=0.15	i=0.20	i=0.10	i=0.15	i=0.20	i=0.10	i=0.15	i=0.20	i=0.10	i=0.15	i=0.20
US\$200/m <sup>2</sup>	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-
US\$100/m <sup>2</sup>	-	-	-	-	-	-	+	+	+	0.20	+	+

+ = Tasa interna de retorno incompatible con la tasa de interés adoptado.

En este caso, aun sin incluir el valor del terreno que ocuparía la instalación solar, sólo resulta económicamente factible la sustitución de la caldera convencional por la instalación solar en la alternativa que considera el mayor precio del fuel-oil y la menor tasa de interés.

C. Tasa interna de retorno para instalaciones solares destinadas a producir energía eléctrica por conversión termodinámica

En este caso parecen más claras las limitaciones que tiene la energía solar como sustituto económico del fuel-oil en América Latina en las próximas dos décadas. Esta situación se origina fundamentalmente en que la generación de energía eléctrica a base de derivados tiene en la región otras alternativas de considerable importancia como es la generación basada en la energía hidráulica, en el calor geotérmico y en la energía nuclear. Estas tres formas de producir electricidad tiene características económicas semejantes a las de una central solar ya que, al igual que ella, requiere de gran inversión inicial mientras que los costos de operación y mantenimiento son relativamente reducidos. De hecho, los países latinoamericanos continentales han dado gran relevancia a las centrales hidroeléctricas en sus programas tentativos de equipamiento eléctrico debido a sus ventajas económicas y a que las reservas identificadas de este potencial superan con creces la necesidad de capacidad instalada hasta el año 2000 en la mayoría de ellos. Las centrales geotérmicas empiezan a ser instaladas a escala creciente y pueden llegar a desempeñar un papel de cierta importancia en algunos países de la cuenca del Pacífico. Las centrales nucleares quedan limitadas en su aplicación económica sólo a aquellos países que disponen de sistemas interconectados importantes y que son, en la actualidad, Argentina, Brasil y México. Estos tres países tienen consultado en sus programas de instalaciones eléctricas la incorporación de considerable potencia nuclear con fines de sustituir al fuel-oil en las centrales térmicas que deberán complementar a las hidroeléctricas. El gran desarrollo que debe alcanzar la generación hidroeléctrica y nuclear hacia el año 2000 conduciría a que la participación de los hidrocarburos (derivados del petróleo y gas natural) en la generación térmica descienda aproximadamente desde la tercera parte que representa en la actualidad, hasta la décima parte que representaría a fines del siglo.

/De este

De este modo, las políticas eléctricas ya establecidas, consultan una sustitución considerable de los derivados del petróleo en el sector a través de un mayor uso de la hidroelectricidad y de la energía nuclear.

Las centrales eléctricas solares por conversión termodinámica se encuentran, por su parte, en etapa de experimentación y se estima que pueden entrar en la etapa de producción comercial recién hacia 1990. De este modo, aun cuando dicha meta se cumpliera, el período que necesariamente debe transcurrir para adoptar la nueva tecnología y construir las nuevas centrales, haría de todas maneras que su incorporación al parque generador de América Latina sólo alcance un carácter marginal en el presente siglo.

Tampoco los aspectos económicos favorecen la instalación solar frente a la hidráulica o geotérmica. En efecto, se estima que el costo de la central solar sería, en moneda actual, del orden de los US\$ 2000/kW<sub>1</sub> cuando entre en su etapa comercial. Esta cifra contrasta con los aproximadamente US\$ 1000/kW<sub>1</sub> en promedio de las centrales hidroeléctricas y aun menos de las geotérmicas. También supera el costo del kW nuclear correspondiente a centrales con capacidad del orden de los 1200 MW que alcanza a unos US\$ 1200/kW<sub>1</sub> (incluido el combustible).

De este modo, para la mayoría de los países no habría presión ni por escasez de recursos ni por el costo de aprovechamiento de éstos para recurrir a las centrales solares en los próximos 20 años. No parece probable entonces, que se alteren substancialmente las fuentes generadoras ya consultadas en los actuales programas tentativos de equipamiento eléctrico.

Donde sus perspectivas en el mediano plazo podrían ser más interesantes, es en los países insulares <sup>3/</sup> carentes de petróleo, con insuficientes recursos hidroeléctricos y geotérmicos y donde, por el tamaño de sus sistemas eléctricos, no les resultaría económica la introducción de la energía nuclear.

<sup>3/</sup> O regiones con buena radiación y escasez de otros recursos energéticos como algunos del norte de Chile, por ejemplo.



A continuación se hace una estimación de la factibilidad económica de estas centrales bajo dos hipótesis respecto al año de su puesta en operación: 1990 y 2000. Los parámetros que se utilizarán son los siguientes:

Precio del fuel-oil (en 1978)	US\$ 0.15/litro
Tasa promedio anual de crecimiento del precio del fuel-oil	0.033 (duplicación en términos reales en el año 2000)
Central solar:	
Período de construcción	2 años <u>a/</u>
Costo de kW <sub>i</sub> incluidos intereses durante la construcción	US\$ 2.100 <u>a/</u>
Horas de funcionamiento anual	14 <u>b/</u> horas/día x 300 días/año = 4.200 horas/año
Generación anual por kW <sub>i</sub>	4.200 kWh
Costo de operación y mantenimiento	5% de la inversión inicial
Vida útil	30 años
Central térmica a base de fuel-oil:	
Período de construcción	2 años
Costo del kW <sub>i</sub> incluido interés durante la construcción	US\$ 600 <u>c/</u>
Consumo específico de fuel-oil	0.25 kg/kWh
Costo anual de operación y mantenimiento	3% de la inversión inicial
Vida útil	30 años
Tasa de interés anual	10%

a/ En base a Science Nº 4309, Vol. 197, septiembre, 1977.

b/ Con almacenamiento de energía calórica para operar 6 horas después de la puesta del sol.

c/ Para una central del orden de los 200 mW de potencia.

/a) Factibilidad

a) Factibilidad económica para una central solar a construirse en 1990

$$E_j = 4200 \times 0.25 \times 0.22(1+t)^j + 600(1+0.03)xi = 231 (1+t)^j + 62$$

$$F_j = 2100 (1+0.05) \times i = 220$$

$$E_j - F_j = 231 (1+t)^j - 158$$

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^v \frac{E_j - F_j}{(1+\rho)^j} &= 231 \sum_{j=1}^v \frac{(1+t)^j}{(1+\rho)^j} - 158 \sum_{j=1}^v \frac{1}{(1+\rho)^j} = \\ &= 231 \times \frac{1+t}{\rho-t} \times \left[ \frac{(1+\rho)^v - (1+t)^v}{(1+\rho)^v} \right] - \frac{158}{\rho} \left[ \frac{(1+\rho)^v - 1}{(1+\rho)^v} \right] \\ &= \frac{239}{\rho-0.033} \times \left[ \frac{(1+\rho)^v - 2.65}{(1+\rho)^v} \right] - \frac{158}{\rho} \left[ \frac{(1+\rho)^v - 1}{(1+\rho)^v} \right] = 2100 \\ \rho &= 0.075 \end{aligned}$$

b) Factibilidad económica para una central solar a construirse en 2000

$$E_j = 4200 \times 0.25 \times 0.30 \times (1+t)^j + 600(1+0.03) \times i = 315(1+t)^j + 62$$

$$F_j = 2100 \times (1 + 0.05) \times 0.1 = 220$$

$$E_j - F_j = 315 (1+t)^j - 158$$

$$\begin{aligned} \frac{315}{\rho-0.033} \left[ \frac{(1+\rho)^v - 2.65}{(1+\rho)^v} \right] - \frac{158}{\rho} \left[ \frac{(1+\rho)^v - 1}{(1+\rho)^v} \right] &= 2100 \\ \rho &= 0.116 \end{aligned}$$

O sea, nuevamente bajo condiciones ideales, favorables a la energía solar, la tecnología de la producción de energía eléctrica en centrales solares por conversión termodinámica recién empezaría a ser económicamente factible en los últimos años de la década de los años noventa.

/BIBLIOGRAFIA

BIBLIOGRAFIA

- ACADEMIA HUTTE DE BERLIN, Manual del Ingeniero, Barcelona, 1975.
- CENTRO PANAMERICANO DE INGENIERIA SANITARIA Y CIENCIAS DEL AMBIENTE (CEPIS), División de Salud Ambiental, "Red panamericana de muestreo de la contaminación del aire (REDPANAIRE) - Informe 1967-1974", Serie Técnica Nº 18, Lima, 1976.
- DUFFIE, John y BECKMAN, William, Solar energy thermal processes, John Wiley and Sons Inc., Nueva York, 1974.
- ETIEVANT, Claude, "Centrales electro-solaires a conversion thermodynamique", Techniques de l'Ingenieur, París, 1976.
- HILDEBRANDT, Alvin y VANT-HULL, Lorin, "Power with heliostats", Science Nº 4309, Vol. 197, septiembre, 1977.
- MULLEN, Joseph, "Energy in Latin America: The historical record", Cuadernos de la CEPAL, Santiago de Chile, 1978.
- NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES, Informe del Ad-hoc Panel of the Advisory Committee on Technology Innovation, "Energy for rural development: Renewable resources and alternative technologies", Washington, D.C., 1976.
- NINTH WORLD ENERGY CONFERENCE, Detroit, 22-27 septiembre, 1974, "Division 2: Environment and the energy supply", Nueva York, 1974.
- ORGANIZACION LATINOAMERICANA DE ENERGIA, Boletín Energético Nos. 1 al 9, Quito, 1977-1978.
- PERRY, John H., Manual del Ingeniero Químico, México, D.F. 1974.
- UNESCO/WMO SYMPOSIUM ON SOLAR ENERGY, Ginebra, 30 de agosto al 3 de septiembre, 1976, "Solar energy", Proceedings of the Symposium, WMO-Nº 477, Ginebra, 1977.
- U.S. DEPARTMENT OF ENERGY, Solar energy, a status report, Washington, D.C., junio, 1978.