

**ESTILOS de DESARROLLO,
ENERGIA y MEDIO AMBIENTE:
Un Estudio de Caso Exploratorio**

CEPAL PNUMA



NACIONES UNIDAS

ESTUDIOS e INFORMES de la CEPAL

**ESTILOS de DESARROLLO,
ENERGIA y MEDIO AMBIENTE:
Un Estudio de Caso Exploratorio**

CEPAL PNUMA



NACIONES UNIDAS

SANTIAGO DE CHILE, 1983

E/CEPAL/G.1254

Julio de 1983

Este estudio fue elaborado en la Unidad de Desarrollo y Medio Ambiente. Esta es una dependencia conjunta de la Comisión Económica para América Latina (CEPAL) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). En la realización del estudio colaboró el consultor, Sr. Sergio Alvarado.

PUBLICACION DE LAS NACIONES UNIDAS

Número de venta: S.83.II.G.24

INDICE

	<u>Página</u>
RESUMEN Y CONCLUSIONES	1
I. VISION GLOBAL DEL ESTUDIO	5
1. Objetivos y alcance	5
2. Marco conceptual	9
3. Diseño metodológico	14
4. Resultados	18
a) Necesidades futuras en materia de energía	18
b) Abastecimiento por fuentes prima- rias de energía	19
c) Sustentabilidad del esquema de abastecimiento	20
d) Posibles efectos sobre el medio ambiente	21
5. Consideraciones finales	23
II. LA ENERGIA EN LOS PAISES INDUSTRIALIZADOS.	27
1. Situación en 1972	27
a) Introducción	27
b) Comparaciones globales	28
c) Comparaciones sectoriales	29
d) Conclusiones	34
2. Evolución en el período 1957-1972	35
a) Introducción	35
b) Indicadores globales	36
c) Evolución de la importancia rela- tiva del carbón, hidrocarburos y electricidad	39
III. LAS NECESIDADES FUTURAS EN MATERIA DE ENERGIA: EL CASO DE CHILE	47
1. Introducción	47
2. Antecedentes históricos	48
3. Necesidades futuras de energía	51
a) Escenario de referencia	51
i) Supuestos generales	51
ii) Análisis sectorial	57

	<u>Página</u>
b) Escenarios alternativos	67
i) Escenario alternativo A	67
ii) Escenario alternativo B	74
c) Resultados y conclusiones	79
IV. EFECTOS AMBIENTALES DE LAS ALTERNATIVAS ENERGETICAS	83
1. Introducción	83
2. Cuantificación de algunos impactos ambientales	84
a) Uso del espacio	84
b) Emisiones	86
c) Consumo de agua	87
Notas	91
Anexo 1 PRECIOS DE LA ENERGIA	103
Notas al anexo 1	104
Anexo 2 LA ENERGIA EN LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACION	107
1. Introducción	107
2. Proporción de la energía comercial consumida por la agricultura	107
3. Desagregación del consumo de energía comercial en la agricul- tura de producción	108
4. Energía utilizada en el sistema alimentario	109
Notas al anexo 2	112
Anexo 3 GENERACION ELECTRICA: DISTRIBUCION ENTRE GENERACION HIDRAULICA Y TERMICA. Notas al anexo 3	113
Anexo 4 IMPACTOS AMBIENTALES DE DIVERSOS ENERGETICOS	115
1. Petróleo y gas natural	115
2. Carbón	119
3. Biomasa	122
4. Energía nuclear	124
5. Geotermia	126
6. Energía solar	127
7. Hidroelectricidad	128
Notas al anexo 4	129

RESUMEN Y CONCLUSIONES

Este estudio de caso exploratorio tiene por propósito intentar una respuesta a la pregunta siguiente: ¿Es posible concebir estilos de desarrollo que necesiten menos energía por habitante y por unidad de producto bruto de la que sería necesaria de persistirse en el estilo actual, y que se puedan sustentar en una base energética más diversificada y menos dependiente de los hidrocarburos?

El análisis no pretende, por cierto, dar respuestas definitivas a ésta y otras interrogantes similares, sino que examinar el problema de la energía desde el ángulo de los estilos de desarrollo y del impacto que tendrían las diversas alternativas energéticas sobre el medio ambiente latinoamericano, usando para ilustración el caso particular de Chile.

El estilo de desarrollo dominante en el mundo de hoy se caracteriza por la utilización generalizada del petróleo como fuente energética; por el crecimiento relativamente más rápido de industrias tales como la petroquímica, la de vehículos automotores, la de los medios de comunicación y la de artefactos electrodomésticos; por el aumento en la densidad de capital por hombre empleado, y por el tamaño y concentración geográfica de la población y la actividad económica. Este estilo característico del desarrollo estadounidense se ha ido haciendo cada vez más homogéneo, superando las características nacionales para convertirse en el estilo transnacional dominante.

Sin embargo, la penetración cada vez mayor del estilo transnacional de desarrollo, y la tendencia a la homogeneización, se han visto constreñidas por las estructuras económicas, tecnológicas y sociales de los países a los que llegan, que tienen su propia dinámica, por lo general mucho más lenta y rígida. Así, a pesar de la fuerte penetración del estilo transnacional en las sociedades europea y japonesa, éste no las ha logrado "transnacionalizar" completamente, y el nuevo estilo coexiste en alguna medida con características heredadas de la fase anterior del capitalismo industrial. Esto ha significado en muchos casos una utilización más cuidadosa y prudente que en los Estados Unidos del espacio, el

agua, la energía, y los recursos naturales.

El presente estudio examina en un primer paso la situación energética de cuatro países desarrollados: Estados Unidos, Suecia, Francia y Japón, concluyendo que el objetivo de alcanzar niveles elevados de industrialización y bienestar no implica necesariamente como requisito el alcanzar los altísimos niveles de consumo de energía que caracterizan a los Estados Unidos. Dicho objetivo puede lograrse con una intensidad de consumo energético entre 30 y 50% menor, como indican las comparaciones con la situación actual de Suecia, Francia y Japón, en virtud de las diferencias que aún persisten entre esos países y los Estados Unidos en cuanto a estilos de desarrollo. En el estudio se examinan los patrones de consumo de energía de estos países y la forma en que ellos han evolucionado, utilizando como indicadores el consumo de energía por habitante y por unidad de producto geográfico bruto (global y sectorial), la distribución relativa según fuentes primarias, y el coeficiente de electrificación.

En un segundo paso, el estudio construye, para el caso chileno, en un horizonte de 30 años, diferentes escenarios de demanda y oferta de energía, vinculándolas con el estilo de desarrollo vigente (escenario de referencia) y con dos escenarios (A y B) correspondientes a posibles estilos alternativos de desarrollo. El escenario A se construyó suponiendo alteraciones poco significativas del estilo de desarrollo vigente, destacando sólo el ahorro de energía. El escenario alternativo B se concibió a partir de la introducción de modificaciones sustanciales en algunos de los procesos más característicos del estilo de desarrollo dominante.

El ejercicio obtuvo, en primer lugar, estimaciones de la demanda futura de energía, distribuida por sectores y por productos energéticos; a continuación, analizó los cambios en la estructura de la oferta por fuentes primarias de energía, para luego sacar algunas conclusiones respecto de la viabilidad del esquema de abastecimiento en términos de los recursos naturales disponibles; finalmente, estimó los impactos ambientales de los cambios en el nivel y la composición de la oferta.

El análisis comparativo de escenarios permite afirmar que, mediante ciertos cambios del estilo de desarrollo, sería posible reducir el consumo total de energía en alrededor de 20% y el de hidrocarburos en alrededor de 50% con respecto a la tendencia "normal", o escenario de referencia: cabría explorar en futuras investigaciones las diversas implicaciones de semejante afirmación.

La considerable sustitución que se podría lograr en el uso de los hidrocarburos disminuiría en alrededor del 50% la inversión en el sector energético. Esto permitiría, por una parte, financiar con creces la expansión de las fuentes no tradicionales de energía, para dar paso a una estructura de oferta mucho más diversificada y equilibrada. Por otra parte, se podrían realizar inversiones vinculadas a transporte colectivo, vivienda popular rural y urbana, organización del espacio, aprovechamiento de residuos y desperdicios y recursos naturales locales, que son justamente las que requiere para materializarse el estilo alternativo de perfil energético moderado.

En cuanto a los impactos ambientales que se estimaron potencialmente más significativos, las conclusiones fueron las siguientes: la ocupación de espacio es mayor aproximadamente en un tercio en el escenario B respecto del escenario de referencia y del escenario A, siendo similar en estos dos últimos; el escenario de referencia presenta mayores emisiones de contaminantes líquidos y gaseosos que A y B (64 y 22%, respectivamente); las emisiones sólidas son semejantes en los tres escenarios; el consumo de agua es también parecido en los tres casos.

El estudio no hace comparaciones cuantitativas entre las inversiones ahorradas en el sector energético y las exigidas por el cambio de estilo; pero parece probable que, en lugar de plantear que el aumento de las inversiones energéticas para sostener la tasa de crecimiento se haga a costa de sacrificar seriamente inversiones en sectores sociales y productivos, esta estrategia tendría como objetivo principal el mejoramiento de las condiciones de vida de la mayoría más pobre de la población, incluso con fuertes incrementos de sus consumos energéticos excesivamente bajos. Para ello se pondrían en juego tecnologías, diseños, formas de organización de la sociedad, del tiempo y del espacio, y maneras de aprovechamiento de recursos locales, que ahorren energía, en general, y petróleo, en particular.

Todo lo anterior apunta a la necesidad de definir objetivos de largo plazo y formular estrategias de desarrollo y programas de inversión en sectores tales como transporte, obras públicas, asentamientos humanos, energía, localización industrial, etc., los cuales requieren de inversiones de gran envergadura, largos plazos de maduración y un mejor aprovechamiento de los recursos renovables y no renovables de los países.

EQUIVALENCIAS PARA LAS UNIDADES DE
ENERGIA Y POTENCIA UTILIZADAS

- 1 tonelada de petróleo
equivalente (tpe) = 4.4×10^{10} Joule
= 7.33 barriles de petróleo
= 1.07×10^7 kilocalorías
- 1 Mtpe = 10^6 tpe
1 Ktpe = 10^3 tpe
1 Kgpe = 10^{-3} tpe
1 gpe = 10^{-6} tpe
- 1 megawatt (MW) = 10^6 watt = 7.17×10^2 tpe/año
= 14.2 barriles de petróleo/día
- 1 megawatt eléctrico-año (MWe-año) generado por combustibles es equivalente a 1.535 tpe, lo que supone un rendimiento de aproximadamente 35%.
-

I. VISION GLOBAL DEL ESTUDIO

1. Objetivos y alcance

Desde la llamada crisis del petróleo (octubre de 1973) existe una preocupación sin precedentes por el problema de la energía. Este tiene variadas y complejas dimensiones, pero se puede reducir en último término a tres hechos fundamentales: a) creciente conciencia de la incompatibilidad entre una demanda que ha crecido rápidamente, de acuerdo con la intensidad y el tipo del desarrollo prevalciente en las últimas décadas, y los recursos tradicionales limitados, en inexorable proceso de extinción; b) la determinación de los países poseedores de hidrocarburos de obtener el máximo ingreso monetario y a la vez conservar su principal y más valioso recurso natural, con la consiguiente elevación de precios y restricciones en el abastecimiento, y c) la masiva y crítica dependencia de casi todos los países industrializados y de muchos en vías de industrialización respecto de abastecimientos de petróleo provenientes de un reducido número de países exportadores, ubicados en un área geopolítica que ha llegado a ser extremadamente crítica e inestable. El reconocimiento de estos hechos ha llevado a la convicción de que la humanidad deberá modificar en las próximas décadas su base energética, en la que hoy predomina el petróleo.

Ya antes, la humanidad ha debido asimilar cambios en su base energética: de la leña al carbón, del carbón al petróleo. En la medida en que se pasaba en esos casos a sustitutos más baratos y eficientes, el funcionamiento automático del mercado favorecía y facilitaba dicha transición. Los mecanismos de precios desempeñaron un papel importante en el proceso de sustitución en el marco de una disponibilidad supuestamente ilimitada de petróleo. En la actualidad, en cambio, el costo de las fuentes alternativas de energía todavía es significativamente superior al de los hidrocarburos, a pesar del enorme aumento de los precios de estos últimos. Por otra parte, es indudable que el petróleo, dadas sus buenas cualidades como combustible y las ventajosas condiciones de abastecimiento seguro y a costos decrecientes en términos

reales, contribuyó necesariamente a la industrialización y al sostenido crecimiento económico de los países que pudieron aprovecharlo, y que influyó en la forma y características de dicha industrialización. Con mucha razón se dice entonces que la crisis de la energía ha afectado a la humanidad de manera muy poco homogénea: los países en desarrollo se verán obligados, durante su futuro proceso de desarrollo económico y modernización, a pagar por la energía mucho más que lo que debieron gastar en petróleo los países industrializados durante su gran auge, en las décadas de posguerra. 1/

Aún más, los países en desarrollo presentan un mayor coeficiente de elasticidad energía-producto que los países desarrollados. 2/ 3/ Ello se debe a que estos últimos completaron su infraestructura urbano-industrial moderna con un estilo de desarrollo caracterizado por hacer uso intensivo del capital, de los recursos naturales y de los hidrocarburos, en lógica respuesta al bajo costo real de la energía antes de 1973; los países en desarrollo, en cambio, están en plena fase de construcción de su infraestructura urbano-industrial moderna, e imitan dichos estilos, pero en condiciones de una radical elevación del precio de la energía en general, y del petróleo en particular. Para que estos países puedan seguir desarrollándose en el marco del estilo predominante, y reproduciendo el estilo urbano-industrial de los desarrollados, tendrían que disponer de fuentes alternativas de energía de características y costos similares a los de los hidrocarburos antes de 1973, y del financiamiento de las inversiones correspondientes.

Sin embargo, es bien sabido que no son muy alentadoras, al menos en el corto y mediano plazo, las perspectivas de ampliar considerablemente la oferta de fuentes alternativas de energía. 4/ Por lo demás, es muy difícil cambiar radicalmente la estructura de la oferta energética en condiciones en que la demanda global, y en especial la de petróleo, crece muy rápidamente; para ello la tasa de crecimiento de las fuentes alternativas tendría que ser varias veces superior a la del petróleo. El mundo se verá pues obligado a seguir abasteciéndose de energía derivada de los hidrocarburos, especialmente en lo que atañe a combustibles, por varias décadas más. Si la demanda de petróleo sigue creciendo, los precios reales futuros serán cada vez mayores, tanto por las restricciones en la oferta y por los esfuerzos de conservación de los exportadores (motivados por un conjunto complejo de objetivos, que van desde el control de precios en el corto plazo a la conservación del recurso en una perspectiva de largo plazo), como por los crecientes costos de extracción, procesamiento,

transporte, etc., de las reservas adicionales de hidrocarburos (fenómeno de carácter tecnológico relativamente independiente de la estructura de precios relativos).

Las reducciones en el consumo de petróleo, en especial después de las fuertes alzas reales de 1973 y 1979, han hecho abrigar esperanzas de que el aumento de los precios relativos puede llevar a un grado de sustitución y conservación del petróleo suficiente como para evitar un aumento de demanda, en términos absolutos. Sin embargo, dentro del sector moderno una vez realizados los ahorros más fáciles y obvios, se presentan ciertas limitaciones estructurales al efecto de los precios.

La reducción de la utilización de petróleo por unidad de producto bruto depende de un amplio espectro de acciones de naturaleza muy diferentes entre sí, que van desde la simple eliminación del desperdicio y de la ineficiencia hasta los cambios (modificaciones o reemplazos) en el actual acervo de bienes de capital, cuya tecnología hace uso intensivo del petróleo. En todo caso, las acciones destinadas a ahorrar petróleo por unidad de producto implican una inversión, que va desde un mínimo, representado por el tiempo y esfuerzo marginal empleado en apagar luces encendidas innecesariamente, hasta el reemplazo de equipos que hagan uso intensivo del petróleo por otros que utilicen carbón, hidroelectricidad u otra forma de energía.

La fuerte elevación de los precios del petróleo inducirá sin duda a realizar acciones para conservarlo y para sustituirlo por otras fuentes energéticas. 5/ Sin embargo, la eficacia del mecanismo de ajuste por el funcionamiento automático del mercado podría tener limitaciones bastante serias, por algunas de las razones siguientes:

- a) La incidencia del costo de la energía en la estructura de costos de la mayoría de las actividades es relativamente baja; 6/
- b) el petróleo tiene un precio al cual tienden a ajustarse -en ausencia de fijaciones de precios- los de las fuentes alternativas de energía, de modo que el cambio de precios relativos dentro del sector energético no es tan acentuado como podría sugerirlo el fuerte aumento del precio del petróleo;
- c) la combinación de los dos factores precedentes sugiere que los empresarios no estarán dispuestos a hacer inversiones significativas en conservación o sustitución de petróleo, excepto cuando la incidencia en el costo sea elevada, o bien cuando el sustituto sea relativamente muy barato (como el uso de desperdicios, por ejemplo); además, cabe considerar las dificultades propiamente tecnológicas de la reconversión energética,

- que finalmente afectarán el rendimiento de los recursos invertidos en dicho proceso;
- d) si las estructuras de mercado son mono u oligopólicas, o si la demanda es inelástica (o más aún, si se combinan ambos factores), el aumento de costos tenderá a trasladarse en su totalidad al consumidor;
- e) la oferta sustitutiva, como por ejemplo entre bienes privados y públicos (reemplazo del automóvil privado por un sistema de transporte masivo), tiende a ser discontinua;
- f) las inversiones en proyectos energéticos de alguna envergadura se caracterizan por largos plazos de maduración y considerable incertidumbre, por lo que no resultan especialmente atractivas al capital privado, sobre todo en presencia de elevadas tasas de interés real.

Por otra parte, el menor consumo relativo de petróleo es también una consecuencia de las menores tasas de expansión económica de los últimos años; la reanudación de un crecimiento económico más rápido podría estimular mayores demandas de hidrocarburos, y con ello nuevas alzas de precios. De hecho, se espera que los precios reales del petróleo aumenten alrededor del 3% anual en promedio, durante las próximas décadas 7/ aunque podrían producirse inesperados e importantes cambios por razones políticas. 8/

Ante la probable persistencia y aun agudización de las condiciones existentes en la última década en materia de petróleo y energía, parece conveniente y oportuno plantearse algunas interrogantes. ¿Pueden los países en desarrollo reproducir el estilo de desarrollo de los países industrializados en un futuro caracterizado por energía cara y por una creciente escasez de hidrocarburos? y, si pudieran ¿acaso les conviene dicha estrategia imitativa? ¿En qué medida es viable un crecimiento económico rápido con un aumento moderado del consumo de energía, en general, y con una reducción en la importancia relativa del petróleo, en particular? ¿Es posible concebir estilos alternativos de desarrollo que precisen de menos energía en términos absolutos, o que puedan sustentarse sobre una base energética más diversificada y menos dependiente de los hidrocarburos? 9/

En definitiva, convendría ampliar el debate y las investigaciones en torno al problema de la energía, hasta ahora centrado principalmente en la oferta de fuentes alternativas de energía, 10/ extendiéndolo hacia la demanda y sus determinantes estructurales; o sea, a la exploración de estilos de desarrollo más moderados en cuanto a sus necesidades energéticas, en general, y de petróleo, en particular. 11/

El presente estudio no pretende, por cierto, dar respuestas definitivas a las interrogantes planteadas u otras similares. Su propósito, más limitado, consiste en examinar el problema de la energía desde el ángulo del estilo de desarrollo y del impacto de las alternativas energéticas sobre el medio ambiente, en el contexto latinoamericano, tomando como ilustración el caso particular de un país. Se trata básicamente de mostrar que el debate sobre la cuestión energética en América Latina puede y debe tomar en cuenta aspectos diferentes a los habitualmente considerados en la perspectiva tradicional, de carácter sectorial centrada en la oferta, y que limita inadecuadamente el problema: es preciso enfrentarse sin embargo a la problemática más global del desarrollo en relación con los recursos y con el medio ambiente. Al respecto existen diversas interrogantes que cabe formular y que hasta ahora no han merecido la urgente atención que requieren en la actualidad latinoamericana.

El alcance del estudio es necesariamente restringido, tanto en tiempo como espacio. En cuanto a lo primero, el período que cubre retrospectivamente es de aproximadamente 20 años, y el horizonte futuro se extiende a 30 años.^{12/} En cuanto a lo segundo, se consideraron los antecedentes energéticos de sólo cuatro países industrializados, y el caso estudiado especialmente es el de un país de América Latina. Por otra parte, se trata de un mero ejercicio conceptual y metodológico, en que las cifras utilizadas tienen principalmente un valor ilustrativo en relación con la argumentación central, y por lo tanto no deben ser tomadas como proyecciones de demanda y oferta de energía ni de crecimiento económico o demográfico.

2. Marco conceptual

El presente trabajo se sitúa en el marco conceptual de un conjunto de estudios sobre estilos de desarrollo y medio ambiente, ^{13/} para los cuales el desarrollo consiste, en último término, en un proceso acumulativo de aprovechamiento y transformación del medio ambiente natural en medio ambiente construido y artificializado, que conduce a un sustancial aumento de los niveles medios netos de productividad del trabajo y de los niveles de vida; ^{14/} ahora bien, como todo proceso de transformación deliberada de materia exige energía, técnicas y una organización social, existe una estrecha interrelación entre medio ambiente, energía y desarrollo. En los estudios mencionados se ha denominado estilo de desarrollo a la forma específica y concreta que adopta dicha interrelación en diferentes tiempos y lugares.

La energía, por ende, cumple una función clave en todos los procesos naturales o intervenidos de la biosfera, y en particular, en el funcionamiento del medio ambiente construido. La importancia relativa de las fuentes energéticas ha ido variando con el tiempo y el desenvolvimiento tecnológico, incidiendo decisivamente en las formas y estilos de desarrollo. Los esclavos, la tracción animal, los bosques, el viento y las caídas de agua fueron durante largos siglos la base de la agricultura, los transportes y las incipientes actividades manufactureras. El carbón fue la base de la primera revolución industrial, caracterizada por el uso del fierro y del acero, y simbolizada, tal vez más que por cualquier otro adelanto tecnológico, por el ferrocarril. Los últimos treinta años corresponden al ciclo de petróleo. A lo largo de más de tres décadas, la civilización urbano-industrial fue amoldándose estructuralmente, en todos sus aspectos, a un abastecimiento abundante, barato y seguro de hidrocarburos. La situación cambió radicalmente en la década de 1970, se inició una era de abastecimientos limitados, caros e inseguros. La crisis del petróleo es una manifestación de la crisis del estilo de desarrollo contemporáneo en uno de sus pilares básicos, como es su fuente energética fundamental. No se trata, en todo caso, de una crisis clásica de sobreproducción o insuficiencia de demanda efectiva, sino que implica elementos nuevos: la política de restricción de la oferta de los exportadores de petróleo, el incremento de los costos de extracción y la perspectiva del agotamiento inevitable del recurso energético fundamental del estilo. Esto no significa necesariamente que el sistema capitalista contemporáneo haya entrado en una fase de colapso, sobre todo en vista de las nuevas modalidades energéticas previsibles en el más largo plazo (tema ajeno al de este trabajo). Parece evidente, sin embargo, el carácter excepcional de la actual crisis.

Las raíces de la crisis se encuentran en la evolución histórica del capitalismo en los países industriales, en la cual influyeron poderosamente las condiciones particulares de cada uno de ellos, incluyendo su dotación de recursos naturales y energéticos. El Japón, por ejemplo, país con gran escasez de recursos naturales, territorio limitado y gran población, adoptó características muy particulares no sólo en su forma de organización económica, social y política, sino también muy concretamente en su estilo arquitectónico, en su agricultura-extremadamente intensiva- y en su forma de organizar el transporte. En Europa, el desarrollo del capitalismo industrial en el siglo XIX también estuvo marcado por su tradición sociopolítica, sus recursos agrícolas relativamente más abundantes que en Japón, su

antigua civilización urbana y su tradición mercantil, su trayectoria imperial-colonial y la amplia disponibilidad de carbón como fuente energética. Estas características, entre otras muchas, influyeron sin duda en la agricultura intensiva, el sistema de transporte urbano e interurbano basado en los ferrocarriles, la popularización tardía del uso del automóvil y el predominio de vehículos pequeños y económicos, y en el gran desarrollo del transporte marítimo y del comercio internacional.

Muy diferente es el caso de los Estados Unidos, con su extraordinaria dotación de recursos naturales, entre los cuales destaca el petróleo, su extensión territorial de dimensiones continentales y su escasez relativa de mano de obra. Estos factores, entre otros, configuraron niveles de ingreso relativamente altos y mucho menos desiguales, tecnologías de gran densidad de capital y ahorradoras de mano de obra, lo que a su vez impulsó la producción en serie y la formación de grandes empresas en virtud de las economías de escala y de un mercado amplio y relativamente homogéneo. La disponibilidad de petróleo como fuente energética barata facilitó el desarrollo de un sistema de transporte muy diferente del europeo: el automóvil de grandes dimensiones y enorme potencia, el transporte de pasajeros y carga por carreteras y la aviación; la motorización y mecanización rural; la dotación del hogar con maquinaria eléctrica para sustituir el trabajo doméstico de la servidumbre y la mujer; el desarrollo de la industria petroquímica y de los materiales sintéticos. Todo ello fue acompañado del desarrollo de grandes empresas de tipo monopólico u oligopólico y de dimensiones continentales, organizaciones esencialmente burocráticas y tecnocráticas, con gran capacidad expansiva y de innovación.

Puede apreciarse, entonces que, si bien en todos los casos se trata del desarrollo del capitalismo en su fase de expansión industrial, el proceso adoptó en cada caso estilos o modalidades diferentes de organización económica, de estructura social y de orientación de la técnica, y, más concretamente, de organización de la industria, la agricultura, el transporte, las formas arquitectónicas y la construcción.

A pesar de ello, durante la Segunda Guerra Mundial, y especialmente después de ella, Estados Unidos se estableció como el poder capitalista central y hegemónico, y sus grandes empresas se transformaron en corporaciones transnacionales que comenzaron a dominar la economía global y llevaron a todos los países, en mayor o menor medida, las pautas de producción y consumo norteamericanas, sus formas de organización, su

tecnología, sus métodos de comercialización y crédito al consumidor, sus medios de comunicación -en definitiva, su peculiar estilo. Todo ello fue complementado con iniciativas amplísimas en los campos militar, cultural y de asistencia técnica y financiera, que también contribuyeron a difundir las pautas, criterios, formas de organización, valores y actividades del estilo norteamericano. Los países europeos y Japón fueron receptores ávidos de ese estilo, pero desarrollaron también su propia capacidad para reproducirlo, no sólo internamente sino también internacionalmente, en especial en lo que se refiere a sus propias relaciones con Estados Unidos. Se ha ido produciendo así una simbiosis y homogeneización del estilo de desarrollo contemporáneo, el que ha ido superando en parte las características nacionales de sus países de origen y que se ha denominado en los estudios citados el estilo transnacional ascendente.

Dicho estilo se destaca por la utilización generalizada del petróleo como fuente energética, desplazando a otras fuentes; el crecimiento relativamente más rápido de las industrias más vinculadas a esta fuente de energía, como la petroquímica, la automotriz y los medios de comunicación y de artefactos electrodomésticos; el aumento en la densidad de capital por hombre empleado, y del tamaño y concentración geográfica de la actividad económica; en general, por el desarrollo de tecnologías de gran densidad de capital y de energía (petróleo).

No obstante el proceso de penetración del estilo transnacional de desarrollo ascendente y de la consecuente tendencia a la homogeneización a que se ha hecho referencia, las estructuras económicas, tecnológicas y sociales cambian con lentitud. En efecto, la fuerte penetración del estilo transnacional en las sociedades industriales europeas y japonesa no las ha logrado "transnacionalizar" completamente, puesto que el nuevo estilo se ha superpuesto, y coexiste en alguna medida, con características heredadas de la fase anterior del capitalismo industrial: el predominio del ferrocarril en el transporte urbano y en el de carga; la importancia que ha conservado el transporte fluvial; la utilización de vehículos automotores más pequeños y económicos; la construcción de viviendas multifamiliares, en preferencia a la unidad familiar suburbana; diseños urbanos más concentrados y menos dispersos, con una cuidadosa planificación del uso del suelo; diseños arquitectónicos más frugales en el uso del espacio, los materiales y la energía, etc. En general, existe una utilización más cuidadosa y prudente del espacio, del agua, de la energía y de los recursos naturales. Hay cifras muy decidoras al respecto, que muestran diferencias

considerables en materia de intensidad de uso de recursos, a pesar de la masiva penetración del estilo transnacional durante los treinta últimos años.

El tema se analiza en detalle en el capítulo II, en relación con la energía. Baste aquí anticipar algunos indicadores. En cuatro países de similar nivel de desarrollo económico, industrialización, urbanización y niveles de vida, el consumo de energía por unidad de producto geográfico bruto (medido en toneladas de petróleo equivalente por millón de dólares de 1970) fue, en 1972, de 1 480 para Estados Unidos, 1 060 para Suecia, 795 para Francia y 850 para Japón. Si el consumo de Estados Unidos se hace igual a 100, el índice para Suecia es 72, para Francia 54 y para Japón 57. Si esta misma comparación se hace por sectores, Estados Unidos aparece en todos ellos con los niveles máximos, excepto en el caso del sector residencial, en que Suecia es ligeramente superior. Si esos máximos también se igualan a 100, los mínimos sectoriales son 71 en Francia para el caso de la industria, entre 32 y 37 para los tres países en el caso del sector transporte, 39 y 58 para Japón y Francia en el sector residencial, y en el sector agrícola, 28 para Japón y alrededor de 50 para Suecia y Francia.

Como puede apreciarse, las cifras indican fehacientemente que el objetivo de alcanzar elevados niveles de industrialización y bienestar no implica de modo alguno que sea indispensable consumir tanta energía como los Estados Unidos. Dicho objetivo puede alcanzarse con niveles de intensidad de consumo energético inferiores entre un 30 y 50% (como lo indican las comparaciones con la situación actual de Suecia, Francia y Japón) en virtud de las diferencias que aún persisten en esos países en cuanto a su estilo de desarrollo. Estos hechos señalan claramente que podría lograrse un considerable ahorro mediante la aplicación de estrategias que asimilaran algunas de las características de los países mencionados. Sugieren además que no se ha aprovechado aún la posibilidad de lograr los objetivos del desarrollo con un consumo bastante más moderado de energía en general, y de petróleo en particular, y con el consiguiente ahorro en las gigantescas inversiones que habría que hacer en el sector energético de no moderarse el consumo. 15/

El marco conceptual de orden general y abstracto antes reseñado puede ser apoyado por un concepto operativo que, no obstante su simplicidad, reviste gran importancia analítica y metodológica. Es el "principio de factorización", en virtud del cual el consumo de energía en cada sector o subsector de la economía se expresa como el resultado de la multiplicación de la

tasa de consumo de energía por el producto. En otros términos: Consumo = intensidad x nivel de actividad.^{16/} La mayoría de los estudios de demanda consideran ambos elementos de la ecuación, aunque generalmente enfatizan uno de los factores, minimizando o excluyendo el otro. Aquellos que confían en las respuestas tecnológicas (aumento de la eficiencia en el uso de la energía) concentran su atención en la "intensidad"; quienes propician cambios en los hábitos de vida, y eventualmente en los estilos de desarrollo (o sea en la estructura y composición de la demanda), se preocupan sobre todo de los "niveles de actividad". Se trata, pues, de un principio operativo especialmente apropiado para el presente ejercicio, en que se exploran principalmente los posibles efectos de cambios en el nivel (y tipos) de actividad. ^{17/}

3. Diseño metodológico

El diseño metodológico elegido pretende responder al objetivo del estudio, es decir, analizar la dialéctica energía-desarrollo desde la doble perspectiva de la energía como elemento clave del desarrollo, que lo define en sus diversos rasgos, y del desarrollo en función de la disponibilidad de fuentes alternativas de energía; dicha dialéctica se sintetiza en el concepto de "estilo de desarrollo". Dadas las limitaciones del estudio, el análisis tiene un carácter meramente exploratorio y se concentra en un solo país. Como hipótesis básica se admite que el estilo de desarrollo "ascendente" (y que tiende a transformarse en "dominante") ^{18/} intenta reproducir los patrones de consumo de energía y otros recursos naturales de los países industrializados. Por consiguiente, el primer paso metodológico consiste en examinar dichos patrones de consumo, así como su evolución. Para tal efecto, como se indicó en la sección anterior, se analizan y comparan en el capítulo II países industrializados representativos de tres continentes: Estados Unidos, Francia, Suecia y Japón, utilizando como indicadores el consumo de energía por habitante y por unidad de PGB (global y sectorialmente), la distribución relativa según fuentes primarias y el coeficiente de electrificación. Este primer paso metodológico constituye un marco de referencia para el segundo, en la medida que da cuenta de algunas relaciones específicas entre energía y desarrollo, al nivel del "estilo dominante", que presentan importantes diferencias de matices entre los países mencionados.

El segundo paso metodológico es el más relevante para efectos de ilustración de la problemática de los países en desarrollo, en los cuales los efectos de un

cambio en el "estilo energético" pueden ser muy importantes cuando se trate de plantear un "estilo alternativo de desarrollo". Dicho paso consiste en construir para el año 2010, diferentes escenarios o perfiles para los sectores de demanda y oferta de energía, procurando relacionar dichos escenarios con el estilo de desarrollo vigente (escenario de referencia) y con dos escenarios -A y B- correspondientes a posibles estilos alternativos de desarrollo. Esto se hace en relación con un país de América Latina -Chile- que se utiliza como ejemplo o caso ilustrativo del ejercicio. 19/

El escenario de referencia, se construye utilizando, en forma principal aunque no exclusiva, las tendencias históricas. Si estas últimas simplemente se extrapolan, se llega a situaciones inaceptables, como, por ejemplo, una elevada contribución porcentual de los hidrocarburos al abastecimiento total de energía primaria. En otras palabras, para construir dicho escenario debe incorporarse una estimación del efecto de los cambios en los precios de petróleo.

Para establecer globalmente los requerimientos de energía, se utiliza el coeficiente elasticidad-producto, postulando que en el período considerado el PGB crece a una tasa media del 6% 20/ y que el coeficiente evoluciona en forma decreciente, desde un valor algo superior a 1.0 en períodos anteriores a 1980 hasta 0.70 en el período 1995-2010. Este supuesto respecto de la efectividad del aumento de precios como moderador del consumo de energía es sumamente optimista, ya que representa una rebaja de cerca del 40% en el coeficiente de elasticidad, a pesar de las dificultades ya señaladas.

La distribución del consumo por fuentes de energía primaria se estima a partir de perfiles prospectivos de oferta elaborados por algunos autores en estudios anteriores. 21/ La distribución así obtenida se plantea como una hipótesis de trabajo que debería ser confirmada o modificada por un análisis en que el consumo global se desagrega por sectores de demanda.

El análisis sectorial y subsectorial del consumo asigna a cada sector un porcentaje del consumo global del país y a cada subsector un porcentaje del sector, en conformidad a las tendencias históricas, 22/ salvo en el caso de la agricultura, cuya incidencia es muy pequeña (del orden del 3%).

Respecto de la distribución por fuentes del consumo sectorial y subsectorial, se adoptan cifras porcentuales muy semejantes a las históricas, salvo dos diferencias importantes: la de la gasolina, en el caso del sector transporte, por la mayor importancia del transporte caminero y dentro de éste, de los automóviles; y la del carbón, en el sector industrial,

por cuanto se supone cierta sustitución de los hidrocarburos.

En cuanto a los dos escenarios alternativos, el primero (A) se construye suponiendo alteraciones poco significativas del estilo de desarrollo vigente, destacándose sólo el ahorro de energía, o sea, el factor intensidad. El segundo escenario alternativo (B) se concibe introduciendo modificaciones sustanciales en algunos de los procesos característicos más relevantes del estilo de desarrollo vigente; es decir, el acento se pone en los niveles de actividad.

Ambos escenarios alternativos se establecen a partir del escenario de referencia, es decir, con los mismos supuestos en cuanto al crecimiento del PGB y de la población. El segundo elemento común a los dos escenarios alternativos es que no incorporan fuentes de energía cuya tecnología se encuentra en proceso de investigación y desarrollo, por lo cual aún no estarán comercialmente disponibles durante un tiempo (por ejemplo: combustibles líquidos sintéticos). Un tercer elemento común se refiere a la indiferencia frente a los precios de los combustibles, pues el escenario de referencia supone una fuerte reducción del coeficiente de elasticidad (de 1.0 a 0.7) en respuesta al aumento de los precios. Las sustituciones de hidrocarburos por carbón, leña y energía solar no se plantean en razón de precios de mercado relativos, sino en función de consideraciones de menor dependencia externa de un recurso escaso en el país, es decir, de evitar una incidencia exagerada de las importaciones de petróleo en el balance de pagos, y de consideraciones ambientales. Esto significa, naturalmente, enfatizar los costos sociales de dichas opciones en lugar de destacar sólo los costos privados. 23/ Por lo demás, cabe suponer que en el largo plazo, como ya puede verse actualmente, el comportamiento de los precios de los combustibles tiende a uniformarse, aun cuando el petróleo conserva su primacía dadas sus ventajas físicas (poder calorífico, facilidad de transporte, de almacenamiento y de uso). 24/

Los supuestos propios del escenario A son los siguientes:

a) Transporte: menor utilización del automóvil (30% vs 54% de viajes urbanos) y mayor transporte de personas en medios masivos; mayor empleo del ferrocarril y de la vía marítima para el transporte de carga (el escenario de referencia supuso un incremento relativo del transporte caminero y una disminución relativa del ferrovial respecto de la situación actual);

b) Sector residencial-comercial: importante ahorro en calefacción (35%) y otros consumos residenciales (combustibles y electricidad);

c) Industria: política nacional de incentivo al ahorro de energía (que se traduce en una disminución del 10%, además de lo ya considerado en la reducción del coeficiente de elasticidad energía-producto); mayor utilización de la leña y residuos vegetales (18% de la energía del sector);

d) Agricultura: aumento de los insumos energéticos, de un valor estimado actual de 0.030 toneladas de petróleo equivalente por habitante y por año a una cifra de 0.100 (en 1972, la cifra comparable para Estados Unidos era 0.139);

e) Energía: mantenimiento de su porcentaje (20%) dentro del balance nacional de energía.

Los supuestos propios del escenario B son los siguientes:

a) Transporte: fuerte desplazamiento de la carga a la vía marítima y ferroviaria; planificación urbana que acerca lugares de residencia y trabajo; descentralización de la población (se detiene el proceso de metropolización); uso masivo de técnicas modernas de telecomunicación; sustitución parcial (20%) de gasolina automptriz por alcohol y de hidrocarburos en general por electricidad (ferrocarril y transporte colectivo urbano);

b) Sector residencial-comercial: mayor cobertura de electrificación rural y por lo tanto uso más generalizado de electricidad (en valor absoluto, 5% más que en el escenario de referencia); en cuanto al consumo de energía por habitante de la población rural y de los sectores urbanos de bajos ingresos, aumento superior al del promedio del subsector residencial; fuerte penetración de las fuentes no tradicionales (23% del sector); uso más intensivo del carbón (especialmente en zonas rurales);

c) Industria: mayor esfuerzo en el ahorro de energía (15% del sector); participación significativa de industrias de alta tecnología con uso poco intensivo de la energía; mayor contribución de la electricidad (30% del sector, contra 22% en escenario de referencia) debido a industrias de alta tecnología; participación de fuentes no tradicionales en el abastecimiento (energía solar);

d) Agricultura: los mismos supuestos del escenario A;

e) Energía: los mismos supuestos del escenario A.

El estudio también explora en forma preliminar los posibles efectos ambientales de las alternativas energéticas. La dimensión ambiental se introduce mediante la cuantificación, basada en información disponible, de los siguientes efectos: uso del espacio ($m^2/ktpe$); 25/ emisiones de contaminantes (ton/ktpe);

y consumo de agua (m^3 /ktpe). Se supone que, al menos potencialmente, el deterioro ambiental es proporcional al valor numérico de los coeficientes indicados y correspondientes a cada alternativa energética.

No es posible, sin el análisis exhaustivo de proyectos específicos localizados en determinado entorno natural y artificial, determinar los posibles efectos o daños ocasionados al hombre y a su medio. Por lo demás, el estado actual de conocimientos tampoco permite una determinación precisa de muchos efectos adversos.

4. Resultados

En lo que sigue se examinan en primer lugar las estimaciones en relación a la demanda futura de energía, en seguida los cambios en la estructura de la oferta (sustitución), luego la viabilidad de dichas ofertas en términos de los recursos naturales disponibles, y finalmente los efectos sobre el medio ambiente debido a los cambios en el nivel y composición de la oferta.

Es preciso reiterar que no debe asignarse a las cifras un valor de predicción; se trata más bien de una comparación entre los diferentes escenarios. Aun así, cabe tomar en cuenta que pueden adolecer de algunas deficiencias propias de una metodología como la empleada, que no recurrió a la modelación matemática de las complejas relaciones desarrollo-energía-medio ambiente. 26/

a) Necesidades futuras en materia de energía

En cuanto a las futuras necesidades de energía del país escogido para ilustrar el presente estudio, se puede señalar lo siguiente, a la luz de las cifras de los cuadros que resumen los resultados de este ejercicio (véanse, en el capítulo III, los cuadros 39, 40 y 41):

i) de mantenerse las tendencias históricas durante los próximos 30 años, y aún con ciertas alteraciones de dichas tendencias, principalmente a consecuencias de la elevación de los precios del petróleo, se visualiza un escenario de referencia que supone multiplicar por 4.4 veces el consumo total de energía entre 1978 y 2010;

ii) en dicho escenario los hidrocarburos representarían casi un 60% del total, a pesar de un fuerte cambio de la tendencia histórica, que entre 1960 y 1978 elevó dicha contribución de un 30% al 58%;

iii) en términos absolutos, el país necesitaría, en el año 2010, hidrocarburos por el equivalente de 25 500 ktpe, 4.6 veces lo correspondiente a 1978, y 12 veces la máxima producción anual de petróleo crudo registrada en los últimos veinte años;

iv) en términos agregados, en los escenarios

alternativos A y B, se observaría una disminución de la demanda de energía con relación al escenario de referencia, de un 15 y un 19%, respectivamente, aunque en cifras absolutas se cuadruplicaría el nivel de la demanda con respecto a la situación actual;

v) por sectores, y siempre comparando con el escenario de referencia, la mayor reducción se produce en el transporte (40% en B), motivada por menor uso del automóvil, mayor importancia del transporte masivo, movimiento de carga en medios más eficientes y descentralización de la población urbana;

vi) sigue en importancia en cuanto a disminución del consumo el sector industrial (20% en B), lo cual se debe atribuir a dos efectos: ahorro de energía y presencia significativa de industrias de alta tecnología y de uso poco intensivo de la energía;

vii) el sector residencial-comercial muestra en el escenario B una reducción de sólo un 11%, porque se planteó un incremento de la dotación de energía de los sectores de menores ingresos; también se ha considerado una mayor demanda relativa de electricidad por la población rural;

viii) a diferencia de los sectores anteriores, la agricultura incrementa su consumo de energía en valores absolutos y relativos, aunque siempre continúa siendo pequeña su participación en el balance nacional (inferior al 5%); dicho aumento se explica por la necesidad de elevar los insumos energéticos de la producción agropecuaria para lograr una mayor disponibilidad de alimentos;

ix) en cuanto al sector energía (centros de transformación), se observa una disminución en términos absolutos, aunque un aumento en términos relativos (en el escenario de referencia, 19.6% y en el escenario B, 23.1%); esto último no ocurre, sin embargo, si se excluyen las pérdidas ficticias, dadas por el equivalente térmico de la generación hidroeléctrica.

b) Abastecimiento por fuentes primarias de energía

Respecto del abastecimiento (fuentes primarias de energía) a nivel de agregación nacional, se puede observar lo siguiente, en comparación con el escenario de referencia:

i) una drástica disminución relativa de la contribución de los hidrocarburos, de un 61% en el escenario de referencia a un 55% en la alternativa A, y a un 38% en la B, aunque en valor absoluto estas cifras representan algo más de dos veces el nivel actual;

ii) un aumento de la participación de la leña y residuos vegetales en los escenarios A y B, con respecto al de referencia, de respectivamente 9 y 10%, contra un

6%; sin embargo, dichos porcentajes de contribución al abastecimiento son todos inferiores al actual, que es del orden del 13%;

iii) un muy significativo incremento de las fuentes no tradicionales: 9.2% en el escenario B, en contraste con cifras insignificantes en el A y nulas en el escenario de referencia;

iv) un aumento importante de la hidroelectricidad, similar al de estudios prospectivos anteriores;

v) una participación sensiblemente igual del carbón, aunque, en términos absolutos, es de alrededor de 4 veces el actual consumo;

vi) una diversificación de fuentes relativamente más equilibrada en el escenario B, con un 38% aportado por los hidrocarburos, un 31% proveniente de la hidroelectricidad y aproximadamente otro 31% aportado en partes similares por carbón, leña y fuentes no tradicionales.

A nivel sectorial, y considerando sólo el escenario B, conviene destacar:

i) transporte: no obstante los drásticos cambios supuestos, continúa la elevadísima dependencia de los hidrocarburos (91%), sólo levemente inferior a la actual (96%);

ii) sector residencial-comercial: una notable baja en la contribución de los hidrocarburos, un 32% contra el 70% del escenario de referencia, y una alta participación de las fuentes no tradicionales (23%) y de la leña y residuos vegetales (21%);

iii) industria: menor dependencia de los hidrocarburos (baja del 45 al 25%) y una importante contribución del carbón (sube del 9 al 25%), de la leña y residuos vegetales y de la electricidad, que se elevan al 15 y 30% respectivamente;

iv) energía: la única diferencia importante reside en la hidroelectricidad, por el hecho de habersele asignado pérdidas ficticias.

c) Sustentabilidad del esquema de abastecimiento

En lo que sigue se resumen las conclusiones relativas a la sustentabilidad del esquema de abastecimiento, en términos de los recursos naturales disponibles.

i) Fuentes renovables

La energía hidromecánica aparece en el escenario B aportando 10 500 ktpe/año en 2010 (véase el capítulo III). Como la hidroelectricidad se ha valorado a través del coeficiente de conversión $1 \text{ kWh} = 2 \text{ 500 kcal}$, la cifra anterior equivale a 6 800 MW, 27/ que representa sólo el 38% de los recursos hoy evaluados y no explotados.

En cuanto a la biomasa, ésta debería estar contribuyendo, en el escenario B, con el equivalente a

unos 5 700 ktpe/año, entre leña y residuos vegetales (biomasa tradicional) y biomasa no tradicional (alcohol, combustibles vegetales quemados con mayor eficiencia y biogás), según se desprende de las cifras indicadas en el capítulo III.

Los recursos forestales que podrían destinarse a fines energéticos representan actualmente 1 350 ktpe/año (1 106 ktpe de recursos existentes y 247 ktpe de recursos potenciales entre las regiones V y X). 28/ Por consiguiente, la biomasa requerida en el escenario B y también en los demás escenarios deberá provenir de un aumento de la masa forestal, 29/ o bien de la agricultura y de residuos urbanos. 30/

Respecto de la energía solar, las mayores necesidades se producen en el escenario B y alcanzan a unos 1 000 ktpe/año (véase el capítulo III), cifra que representa una pequeña fracción del potencial solar técnicamente aprovechable entre la I y VIII regiones, estimado en 230 000 ktpe/año. 31/

ii) Fuentes no renovables

En relación a los recursos energéticos no renovables, hidrocarburos y carbón, las exigencias más elevadas son las del escenario de referencia, y las menores, las del escenario B. Se resumirán aquí sólo estas últimas.

Los hidrocarburos deberían aportar 13 061 ktpe/año, cantidad muy superior a la producción anual de los últimos 20 años. 32/ Por consiguiente, el país continuaría dependiendo del petróleo importado, a menos que las prospecciones sean muy exitosas.

El carbón (y sus derivados) aparecen con una contribución de 3 750 ktpe/año. En los últimos 30 años, la máxima contribución anual alcanzó a aproximadamente 1 500 ktpe. Sin embargo, las reservas de carbones bituminosos del centro-sur se estiman en el equivalente de 224 000 ktpe 33/ en tanto que las reservas de carbones sub-bituminosos en el extremo sur (Magallanes) pueden exceder los 2 500 000 ktpe.

d) Posibles efectos sobre el medio ambiente

Con las limitaciones que se señalan en el capítulo IV, se intentará comparar algunos de los posibles efectos de los esquemas energéticos de los diferentes escenarios sobre el medio ambiente. Para ello, se dispone de ciertos coeficientes relativos a la ocupación de espacio ($m^2/ktpe$), a la emisión de contaminantes para los diferentes tipos de fuentes primarias ($ton/ktpe$), y a los consumos de agua en la generación termoeléctrica ($m^3/ktpe$).

i) Uso del espacio

Considerando las cifras contenidas en cuadros presentados en el capítulo IV, se concluye que los

recursos energéticos significativos desde el punto de vista de la ocupación de tierra son la biomasa y la hidroelectricidad.

El escenario A presenta una ocupación similar a la del escenario de referencia, en tanto que el escenario B requiere un 34% más. Para la producción de biomasa, como se indicó anteriormente, sería preciso disponer de 1.5 millones de hectáreas de bosques destinadas exclusivamente a fines energéticos. De acuerdo a cifras publicadas por la Comisión Nacional de Energía 34/ la superficie de las áreas potenciales (clase de uso VI y VII) alcanza a 4.5 millones de hectáreas entre la V y X región. Aparentemente existirían suficientes suelos de aptitud forestal como para producir la biomasa energética necesaria. Sin embargo, es posible que dichos suelos puedan dedicarse a la industria forestal no energética o a la ganadería, por lo que es preciso un análisis cuidadoso de las alternativas de uso social de estos recursos, así como de las consecuencias ambientales correspondientes.

ii) Emisiones

Se hizo una estimación de las emisiones producidas por la refinación y combustión de hidrocarburos y por la combustión de carbón y biomasa, actividades que en los tres escenarios aparecen como las principales fuentes de contaminación.

Como podía esperarse, el escenario de referencia tendría el mayor impacto potencial desde el punto de vista de las emisiones de gases y líquidos (superior en un 64 y en un 22%, respectivamente, a los escenarios B y A). Cabe hacer notar que en todos los casos el transporte es el principal causante de las emisiones gaseosas y líquidas, con un 40% aproximado del total.

En cuanto a las emisiones sólidas, los tres escenarios muestran cantidades similares (aunque el escenario B, un 10% menos que el escenario de referencia); se explica porque en todos los casos la contribución del carbón pesa muy significativamente.

iii) Consumo de agua

El consumo más importante es, como se indica en el capítulo IV, el debido a la generación termoeléctrica (refrigeración). Los valores que se obtienen son muy similares para los 3 escenarios, del orden de los 20 millones de m³/año. Sin embargo esto no tiene la importancia que aparenta, pues las plantas termoeléctricas pueden, en muchos casos, instalarse en la costa y por lo tanto utilizar agua de mar para la refrigeración.

Habría que considerar, finalmente, algunos efectos positivos difícilmente cuantificables: un mejor uso de recursos no-renovables (petróleo), un manejo necesariamente más racional de los recursos renovables por

imperativos de la sustitución energética, mejores niveles de salud y de calidad de vida en general, por menor contaminación, aspectos estéticos ligados a los cambios en el "estilo energético", beneficios sociales por aumento del reciclaje y uso de desechos (biogás); etc.

5. Consideraciones finales

El propósito del presente ensayo exploratorio es limitado: se trata de examinar, en el caso de un determinado país, la posibilidad de moderar el consumo de energía en general, y de hidrocarburos en especial, más allá de las tendencias previsibles por la elevación de los precios de los hidrocarburos y de la energía en general. Mediante este ejercicio se puede apreciar que con ciertos cambios en el estilo de desarrollo, sería posible reducir el consumo total de energía en alrededor de un 20%, y el de hidrocarburos en alrededor de un 50%, con respecto a la tendencia "normal" o escenario de referencia.

La metodología utilizada para llegar a estas conclusiones no permite explorar una serie de otras consecuencias derivadas de este planteamiento, ya que por limitaciones de tiempo y de recursos no se pudo trabajar con un modelo de interrelaciones económico-energético global. Sin embargo, es posible sugerir algunas de las posibles implicaciones que cabría explorar en una investigación de ese tipo.

Por ejemplo, la considerable sustitución que sería posible lograr en el uso de los hidrocarburos representaría un esfuerzo de inversión de sólo alrededor de la mitad del que habría que hacer en el escenario de referencia en ese sector o en otros que permitieran aumentar las exportaciones para financiar la importación de hidrocarburos. Suponiendo que el costo de inversión de producir el petróleo crudo nacional y de las importaciones complementarias fuera del orden de 12 000 dólares por barril/día, 35/ un menor consumo de 12 500 ktpe/año representaría una menor inversión del orden de los 3 000 millones de dólares. Esta es obviamente una estimación bastante conservadora, ya que es de esperar una elevación en los costos reales de inversión en hidrocarburos en la medida que se agotan las reservas más fácilmente asequibles y explorables; además, en esa cifra no se consideran las inversiones complementarias de refinación, transporte, distribución, almacenaje, etc.

Este considerable ahorro en programas de inversión para el desarrollo de la producción o para la importación de los hidrocarburos tendría varias consecuencias.

La primera es que permitiría financiar con creces la expansión de las fuentes de energía no tradicionales y la ampliación del uso de la leña y los residuos vegetales, y logrando de paso con ello una estructura de oferta mucho más diversificada y equilibrada. Además, como no hay grandes variaciones en la oferta carbonífera ni en la hidroeléctrica entre el escenario de referencia y el escenario alternativo B, y el aumento de las fuentes no tradicionales y de la leña requeriría sólo una fracción de las inversiones ahorradas en el sector hidrocarburos, la menor inversión restante tendría además otras repercusiones interesantes.

La estrategia que procura lograr una elevada tasa y nivel de desarrollo con un perfil energético moderado en general, y con el máximo posible de sustitución de los hidrocarburos, implica inversiones mucho menores en el sector petróleo. Esto permite por una parte, como se acaba de señalar, diversificar la oferta energética, y por la otra, invertir en los sectores del transporte colectivo, la vivienda popular rural y urbana, la racionalización de la vida urbana, la organización más racional del espacio, el aprovechamiento de residuos y desperdicios y el de los recursos naturales locales, que son justamente las inversiones que requiere el estilo alternativo de perfil energético moderado para materializarse. No es posible por supuesto hacer aquí comparaciones cuantitativas entre las inversiones ahorradas en el sector energético y las exigidas por el cambio de estilo; para ello se requeriría un modelo mucho más refinado e ingente información. Sin embargo, cabe decir que esta estrategia de perfil energético moderado, al revés de lo que sucede con el escenario de referencia, posiblemente podría generar en medida importante sus propios recursos de inversión.

En otras palabras, en lugar de plantearse la opción de sostener la tasa de crecimiento mediante un fuerte aumento de las inversiones energéticas, sacrificando seriamente inversiones en sectores sociales y productivos, esta estrategia estaría planteándose como objetivo principal el mejoramiento de las condiciones de vida de la mayoría de la población, incluso con fuertes aumentos de los consumos energéticos excesivamente bajos, pero mediante el empleo de tecnologías, de diseños, de formas de organización social y del tiempo y del espacio, y mediante el aprovechamiento de recursos locales, todo lo cual cumpliría además con el doble criterio de ahorrar energía en general y petróleo en especial.

Es muy probable también que estas inversiones tengan otra serie de consecuencias favorables desde el punto de vista del desarrollo. Desde luego, mejorarán

directamente la situación del balance de pagos al moderar o incluso reducir las necesidades de importación de petróleo. Por otra parte, es probable que utilicen en forma más intensiva la mano de obra. Finalmente, incidirán en una mejoría de la distribución del ingreso, al proponerse el mejoramiento del transporte colectivo y del hábitat popular, tanto urbano como rural.

En cualquier caso, todo lo anterior apunta a la necesidad de definir objetivos a largo plazo y formular las correspondientes estrategias de desarrollo, programas de inversión y políticas, particularmente en áreas y sectores tales como el transporte, las obras públicas, los asentamientos humanos, la energía, la localización industrial y otras, todas las cuales se caracterizan por exigir inversiones de gran envergadura y largos plazos de maduración.

II. LA ENERGIA EN LOS PAISES INDUSTRIALIZADOS

1. Situación en 1972

a) Introducción

Con el fin de explorar la viabilidad y significación de diferentes estilos de desarrollo desde la perspectiva de la demanda energética, ha parecido conveniente examinar en primer lugar ciertos aspectos comparativos del consumo de energía en los países industrializados. Como ya se sabe, existe una elevada correlación entre el producto geográfico bruto de un país y sus necesidades energéticas. Los países en desarrollo tienen en consecuencia un bajo consumo de energía por habitante, mientras que en los industrializados dicho consumo es elevado. Más significativo es, sin embargo, otro hecho menos conocido: entre estos últimos países, incluso aquéllos de características más homogéneas, existen fuertes diferencias en cuanto a los indicadores de consumo por habitante y consumo por unidad de PGB. En otras palabras, países desarrollados de comparable nivel de bienestar material y social requieren insumos energéticos relativos significativamente diferentes; mucho más elevados en países como Estados Unidos y Canadá que en los países europeos y el Japón. Tal circunstancia motivó principalmente a fines de los años setenta, algunos estudios destinados a analizar el fenómeno y a esclarecer sus causas. Como se comprenderá, este hecho tiene la mayor importancia para los países en desarrollo, pues sugiere que éstos podrían alcanzar los mayores niveles de vida a que aspiran con perfiles de consumo energético más moderados que los de la sociedad norteamericana, con el consiguiente ahorro en materia de inversiones.

Dada la imposibilidad de examinar todos los países industrializados, se han seleccionado países representativos de tres continentes: Estados Unidos, Francia, Suecia y Japón. De Europa Occidental se eligieron dos, por cuanto interesó especialmente incluir Suecia, país que reúne características de especial importancia para el análisis, como se verá más adelante.

b) Comparaciones globales

Las comparaciones globales se efectúan normalmente mediante un indicador físico (consumo de energía por habitante) o mediante un indicador físico-económico (consumo de energía/unidad de PGB). El uso de tales indicadores plantea algunos problemas de medición de sus componentes, en particular de la energía y del PGB. 36/

Los valores numéricos de los indicadores de consumo de energía por habitante y por unidad de producto provienen mayoritariamente de un estudio comparativo que incluye nueve países industrializados: Estados Unidos, Canadá, Francia, Alemania Occidental, Italia, Holanda, Reino Unido, Suecia y Japón. 37/ Dicho estudio analiza la situación correspondiente al año 1972. Se optó por estudiar dicho año porque sobre él existe suficiente información detallada, porque se trata de un año de alta actividad económica, y por ser anterior al abrupto incremento del precio del petróleo crudo. Posteriormente se efectuará un análisis similar, aunque menos exhaustivo, respecto de las tendencias del período 1957-1972.

Los consumos globales de energía por habitante pueden apreciarse en el cuadro 1.

Cuadro 1

CONSUMO DE ENERGIA POR HABITANTE (1972)

(tpe/hab) a/

Estados Unidos	8.35
Suecia	5.31
Francia	3.31
Japón	2.90

Fuente: Darmstadter, Joel, Dunkerley, Joy, y Alterman, Jack: How Industrial Societies Use Energy. A Comparative Analysis, Johns Hopkins University Press, Baltimore, 1977.

a/ tpe: tonelada de petróleo equivalente (10.7×10^6 kcal).

Aunque evidentemente este indicador no incluye todos los elementos necesarios para una comparación válida, revela ya disparidades significativas en el consumo de energía de países altamente industrializados y de niveles similares de vida. En particular, si consideramos Estados Unidos en relación con Suecia,

este último muestra un consumo por habitante que sólo alcanza al 64% del primero, mientras que la diferencia en el PGB por habitante (también para 1972) sólo favorece en un 11% a los Estados Unidos.

En cuanto al consumo de energía por unidad de PGB, la situación es la siguiente:

Cuadro 2

CONSUMO DE ENERGIA POR UNIDAD DE PGB (1972)

(tpe/10⁶ dólares) a/

Estados Unidos	1 480
Suecia	1 062
Japón	849
Francia	795

Fuente: Darmstadter, Joel, Dunkerley, Joy, y Alterman, Jack: How Industrial Societies Use Energy. A Comparative Analysis, Johns Hopkins University Press, Baltimore, 1977.

a/ tpe: tonelada de petróleo equivalente (10.7 x 10⁶ kcal).

Este indicador también puede adolecer de imperfecciones, pero nuevamente pone en evidencia un marcado contraste entre los países seleccionados para la comparación.

c) Comparaciones sectoriales

Para un mejor análisis comparativo conviene descomponer estos promedios en los consumos sectoriales. En este caso se utiliza como indicador el consumo de energía por unidad de PGB la energía y el PGB se han valorizado en unidades físicas y monetarias, respectivamente, tal como se dijo antes.

En el sector transporte, Estados Unidos aparece con el más alto consumo (triplica el de los países en comparación). Este sector merece especial consideración, tanto por la cantidad de energía consumida (22% del total nacional en el caso de Estados Unidos para 1972) como por su contribución a las variaciones del indicador entre los países considerados. Como es obvio, la primera explicación deberá buscarse en las dimensiones físicas del país y en el tamaño de su población, ya que Estados Unidos presenta dimensiones continentales (20 veces la superficie de Francia y 25 veces la población de Suecia). Si se define un parámetro $\lambda = \sqrt{S/P}$, en que S es la

Cuadro 3

CONSUMO SECTORIAL Y TOTAL DE ENERGIA POR UNIDAD DE PGB

Consumo sectorial	Estados Unidos		Suecia		Japón		Francia	
	tpe <u>a/</u> por 10 ⁶ dólares	Porcen taje	tpe <u>6</u> por 10 ⁶ dólares	Porcen taje	tpe <u>6</u> por 10 ⁶ dólares	Porcen taje	tpe <u>6</u> por 10 ⁶ dólares	Porcen taje
Sector transporte	327	22.1	121	11.4	105	12.4	117	14.7
Sector industrial	309	20.8	275	25.9	330	38.9	220	27.6
Sector residencial- comercial <u>b/</u>	374	25.3	349	32.8	164	19.3	223	28.1
- residencial <u>c/</u>	218	14.7	231	21.7	85	10.0	126	15.9
- comercial	131	8.9	106	10.0	72	8.5	84	10.6
- agrícola	25	1.7	12	1.1	7	0.8	13	1.6
Usos no energéticos <u>d/</u>	86	5.8	18	1.7	54	6.4	38	4.8
Sector energía	135	9.1	33	3.1	48	5.7	57	7.2
Pérdidas de transformación	250	16.9	267	25.1	147	17.3	140	17.6
Consumo total	1 480	100.0	1 063	100.0	849	100.0	795	100.0

Fuente: Darmstadter, Joel, Dunkerley, Joy y Alterman, Jack: How Industrial Societies Use Energy. A Comparative Analysis, Johns Hopkins University Press, Baltimore, 1977.

a/ tpe: tonelada de petróleo equivalente (10.7×10^6 cal).

b/ Incluye subsectores residencial, comercial y agrícola, que se encuentran desagregados a continuación.

c/ No incluye corrección por clima.

d/ Materias primas energéticas para la petroquímica.

superficie y P la población, dicho parámetro debería resultar proporcional (ignorando por el momento el efecto precio de la gasolina) a la propensión a viajar y por consiguiente al consumo de energía por habitante en transporte.

Cuadro 4

CONSUMO SECTORIAL Y TOTAL DE ENERGIA POR UNIDAD DE PGB

(Expresado como porcentaje del consumo de Estados Unidos)

Consumo sectorial	Estados Unidos	Suecia	Japón	Francia
Sector transporte	100	37.0	32.1	35.8
Sector industrial	100	89.0	106.8	71.2
Sector residencial-comercial a/	100	93.3	43.9	59.6
- residencial	100	106.0	39.0	57.8
- comercial	100	80.9	55.0	64.1
- agrícola	100	48.0	28.0	52.0
Usos no energéticos b/	100	20.9	62.8	44.2
Sector energía	100	24.4	35.6	42.2
Pérdidas de transformación	100	106.8	58.8	56.0
Consumo total	100	71.8	57.4	53.7

Fuente: Darmstadter, Joel, Dunkerley, Joy y Alterman, Jack: How Industrial Societies Use Energy. A Comparative Analysis, Johns Hopkins University Press, Baltimore, 1977.

a/ Incluye subsectores residencial, comercial y agrícola, que se encuentran desagregados a continuación.

b/ Materias primas energéticas para la petroquímica.

El efecto precio podría introducirse a través de un parámetro que mida el cociente entre el precio y el producto geográfico bruto por habitante.

Se obtienen interesantes cifras en el cuadro 5.

El indicador $\frac{E \cdot \mu}{\lambda}$ nos permite trabajar con un consumo por habitante corregido para considerar la propensión a viajar, incluyendo el efecto-precios. Tomando en cuenta este indicador, la situación de Estados Unidos acorta su distancia respecto de la de Francia y Japón,

pero sigue siendo muy diferente a la de Suecia; para explicar este hecho habría que referirse a la intensidad energética (kgpe/pasajero-kilómetro) y a la proporción de uso de los diferentes medios de transporte.

Cuadro 5

PARAMETROS RELATIVOS AL TRANSPORTE DE PASAJEROS (1972)

	$\lambda (10^5 \frac{\text{km}}{\text{hab}})$ a/	$E(\text{tpe/hab})$ b/	μ c/	$\frac{E \cdot \lambda}{\mu}$
Estados Unidos	1.45	1.227	17.72	15.0
Francia	1.42	0.292	56.43	11.6
Suecia	8.12	0.303	40.26	1.5
Japón	0.56	0.164	58.60	17.2

a/ Datos de superficie y población de UN Statistical Yearbook.

b/ tpe: tonelada de petróleo equivalente (10.7×10^6 cal). Datos de Darmstadter, Joel, Dunkerley, Joy y Alterman, Jack: How Industrial Societies Use Energy. A Comparative Analysis, Johns Hopkins University Press, Baltimore, 1977.

c/ Calculado como cociente entre precio relativo de la gasolina (EE.UU.: 100) y el PGB/cápita, con datos de Darmstadter et al., ibidem.

El medio de transporte predominante es en todos los casos el automóvil, para el cual la intensidad energética es claramente superior en Estados Unidos. (Suecia: 7.47; Francia: 8.25; Japón: 8.63; EE.UU.: 10.45 tpe/ 10^5 pasajeros-milla.) 38/

En el sector industrial es interesante observar que las cifras muestran mayor uniformidad que en el sector anterior. Japón se presenta como un gran consumidor de energía en la industria; la proporción es incluso mayor que la de Estados Unidos. La mayor uniformidad resultaba previsible, tratándose de países de similar desarrollo tecnológico y altamente industrializados. En cuanto a la alta proporción de consumo de energía en el Japón, es preciso considerar, por una parte, la estructura industrial (tanto interna como en relación con su aporte al PGB, frente a otros sectores) y por otra, la intensidad en el uso de la energía industrial (consumo específico o cantidad de energía requerida para producir cada unidad de PGB generado por la industria). En Japón, la industria contribuye con 40.9% al PGB nacional, en tanto que en Estados Unidos dicha contribución es del 31.1%. La "intensidad" es también diferente: para Estados Unidos, 1 427.7,

y para Japón, 924.6 tpe por 10^6 dólares de PGB industrial. 39/ El efecto "intensidad" (positivo para Estados Unidos) es sólo parcialmente compensado por el efecto "estructura" (negativo), de donde se infiere que el primero es determinante, como efectivamente también ocurre al comparar con los demás países. Una posible razón para la mayor "intensidad" exhibida por Estados Unidos es la existencia de plantas más antiguas que en los países que debieron reconstruir su infraestructura industrial luego de la Segunda Guerra Mundial.

En lo relativo al sector residencial-comercial, los mayores consumidores son Estados Unidos y Suecia, con cifras comparables. Sin embargo, las diferencias climáticas entre ambos países sugieren la posibilidad de corregir tales cifras. Al efectuar dicha corrección la diferencia entre los dos países se hace mayor (Estados Unidos, 159, y Suecia, 109 tpe/ 10^6 dólares en climatización de viviendas). Interesa también destacar la comparación entre Suecia y Francia. Una vez corregidas las cifras del cuadro 3 por un factor que toma en cuenta la diversidad climática, la diferencia entre estos dos países se hace menos marcada. Finalmente, llama la atención el bajo nivel de consumo de Japón, muy inferior al de todos los demás países de comparación.

El sector denominado usos no energéticos es el que, en todos los casos, pesa menos en el consumo total. Estados Unidos presenta un consumo bastante alto en relación a los demás países de comparación, y particularmente respecto de Suecia (cinco veces mayor). Esta situación obedece, sin duda, a que en Estados Unidos la industria química es proporcionalmente mayor que en los países de comparación.

El sector energía corresponde al consumo de las propias empresas productoras de energía (centros de transformación), y corresponde, por ejemplo, al petróleo utilizado en la refinación del petróleo y a la electricidad consumida por las centrales eléctricas; incluye también pérdidas en la distribución de gas y electricidad. Estados Unidos muestra un consumo por unidad de PGB extraordinariamente elevado: 4 veces el de Suecia y más del doble del de Francia y Japón. Este hecho puede explicarse porque Estados Unidos tiene un número mayor de industrias dedicadas a la extracción de energéticos y refinación de petróleo, y además, en el caso de Suecia, porque este país, cuya generación es predominantemente hidroeléctrica, tiene (según estimaciones de la OCDE), menores consumos internos en las centrales que aquellos países cuya generación es mayoritariamente térmica.

El sector pérdidas de transformación incluye las que se producen al transformar una forma de energía en otra, cuyo principal componente es el calor disipado en

la generación de termoelectricidad. Al examinar las cifras anteriores, llaman la atención los casos de Suecia y Estados Unidos, con las más altas pérdidas de transformación; sin embargo, debe tenerse presente que en el primer caso la cifra es en gran medida ficticia, ya que incluye fuertes pérdidas que no son físicamente reales: las de la conversión de la hidroelectricidad en su equivalente térmico. 40/ En Suecia la proporción entre generación termoeléctrica e hidroeléctrica es de 0.31, 41/ netamente inferior a la de los otros países industrializados de comparación.

d) Conclusiones

Lo anterior permite adelantar algunas conclusiones respecto a ciertos rasgos de los diferentes "estilos energéticos" dentro del mundo capitalista, aun cuando se han considerado solamente las cifras correspondientes a 1972. El análisis se refiere a cuatro países altamente industrializados y de elevado ingreso por habitante (para 1972, año de referencia, el producto geográfico bruto por habitante varía entre 3 423 dólares en Japón, y 5 648 dólares en Estados Unidos). Además, si se consideran los indicadores económicos y sociales (salud y educación), se observa un nivel de bienestar muy similar en países como Estados Unidos y Suecia: el índice de calidad físico de la vida (Physical Quality of Life Index, PQLI) desarrollado por el Overseas Development Council es de 94 para Estados Unidos y de 97 para Suecia (período 1970-1975). 42/43/

Por otra parte, estos países han adoptado un mismo estilo de desarrollo, el "ascendente", y se encuentran en una fase avanzada del mismo: la sociedad urbano-industrial. No obstante, dentro de dicho estilo de desarrollo común, las características o procesos del estilo "ascendente" presentan diferentes grados de penetración, lo que puede ser una de las razones importantes para explicar los modelos claramente distintos de consumo de energía.

Consideremos los dos casos probablemente más reveladores a este respecto: Estados Unidos y Suecia. En el sector vivienda aparece una primera diferencia importante. El porcentaje de viviendas unifamiliares y multifamiliares (departamentos) es de 42 y 58% para Suecia y de 71 y 29% para Estados Unidos, respectivamente. 44/ Sin embargo, no obstante las condiciones más rigurosas del clima frío en Suecia, los consumos residenciales son muy similares en ambos países (218 y 231 tpe/10⁶ dólares, según el cuadro 3), lo que da para Estados Unidos una cifra muy superior si se efectúa la corrección por clima (109 y 159 tpe/10⁶ dólares, respectivamente).

El sector transporte también muestra diferencias importantes. En Suecia el transporte de pasajeros se efectúa predominantemente por ferrocarril o bus, en desmedro del automóvil y el avión. En el caso particular

del automóvil, los vehículos suecos son en promedio bastante más livianos que los americanos (1 100 vs 1 700 kg). También hay una diferente utilización del automóvil. Para viajes de 10 km o menos, los suecos usan autos privados y locomoción colectiva en una proporción de 55 a 45 (porcentaje de viajes); en cambio en Estados Unidos dicha proporción es 90 a 10. ^{45/} Los consumos de energía en el sector transporte (según el cuadro 3) son de 327 y 121 tpe/10⁶ dólares para Estados Unidos y Suecia, respectivamente.

En el sector energía hay contrastes importantes. Suecia dispone de abundantes recursos hidroeléctricos; en 1972 el 75% de la generación eléctrica fue de origen hidráulico. Utiliza también, más que Estados Unidos, la cogeneración (sistemas combinados calor-electricidad). Estas y otras razones podrían explicar la significativa diferencia en el consumo del sector energía: 135 y 33 tpe/10⁶ dólares para Estados Unidos y Suecia, respectivamente.

En el análisis precedente no se ha incluido el parámetro precio de los combustibles (salvo en el caso del transporte) y de la electricidad, parámetro que ciertamente puede contribuir a modificar la eficiencia en el uso de la energía. El Anexo 1 aporta algunos antecedentes sobre las relaciones de precios de la energía en los cuatro países considerados y sobre su posible incidencia en los patrones de consumo de los diferentes sectores. Tales antecedentes parecen confirmar el hecho de que los precios por sí solos no pueden explicar factores de 3 y 4 entre los consumos sectoriales por unidad de PGB.

2. Evolución en el período 1957-1972

a) Introducción

En la primera parte de este capítulo se examinó comparativamente el patrón de consumo de energía correspondiente a un año (1972) de cuatro países industrializados: Estados Unidos, Francia, Suecia y Japón; se dio pues una visión estática de la situación. En esta segunda parte, se hace una comparación dinámica entre los mismos países, con el objeto de conocer la evolución temporal de ciertos indicadores ya utilizados, y también de otros, con el fin de apreciar o determinar algunas tendencias.

Para estos efectos se decidió recurrir a series históricas que abarcan un período de 16 años (1957-1972) (véase el cuadro 6). Aun cuando existe la información necesaria respecto de períodos anteriores, se estimó prudente situarse en una época relativamente alejada del término de la Segunda Guerra Mundial, especialmente por lo que se refiere a los países de Europa Occidental y Asia, cuya infraestructura material quedó gravemente deteriorada como consecuencia de dicho conflicto bélico.

Cuadro 6

CONSUMO DE ENERGIA PRIMARIA COMERCIAL
POR HABITANTE a/

Año	Estados Unidos	Suecia	Francia	Japón
	Kgpe/hab			
1957	5 309	2 454	1 750	689
1960	5 424	2 960	1 753	863
1963	5 787	3 407	2 095	1 108
1966	6 494	4 247	2 186	1 411
1969	7 232	4 709	2 565	2 048
1972	7 818	5 001	2 955	2 475
	Porcentaje del consumo de Estados Unidos			
1957	100.0	46.2	33.0	13.0
1960	100.0	54.1	32.0	15.8
1963	100.0	58.9	36.2	19.2
1966	100.0	65.4	33.7	21.7
1969	100.0	65.1	35.5	28.3
1972	100.0	64.0	37.8	31.7

Fuente: Naciones Unidas: World Energy Supplies 1950-1974, Nueva York, 1976. "United Nations Demographic Yearbook".

a/ Se han efectuado las siguientes conversiones y aproximaciones: el consumo de combustibles (que las estadísticas presentan en toneladas de carbón equivalente) se ha expresado en toneladas de petróleo equivalente, a través del coeficiente $1 \text{ tce} = 0.6542 \text{ tpe}$, que supone asignar poderes caloríficos de 10 700 y 7 000 kcal/kg a petróleo y carbón, respectivamente; la electricidad de origen hidráulico y nuclear (kWh generados) se ha transformado en el equivalente térmico de petróleo (mediante el factor técnico de conversión $1 \text{ kWh} = 2 500 \text{ kcal}$); se ha supuesto que la producción y el consumo de electricidad son aproximadamente iguales (el error para el período considerado, es inferior al 3%). Estos mismos resultados se presentan en el gráfico 1.

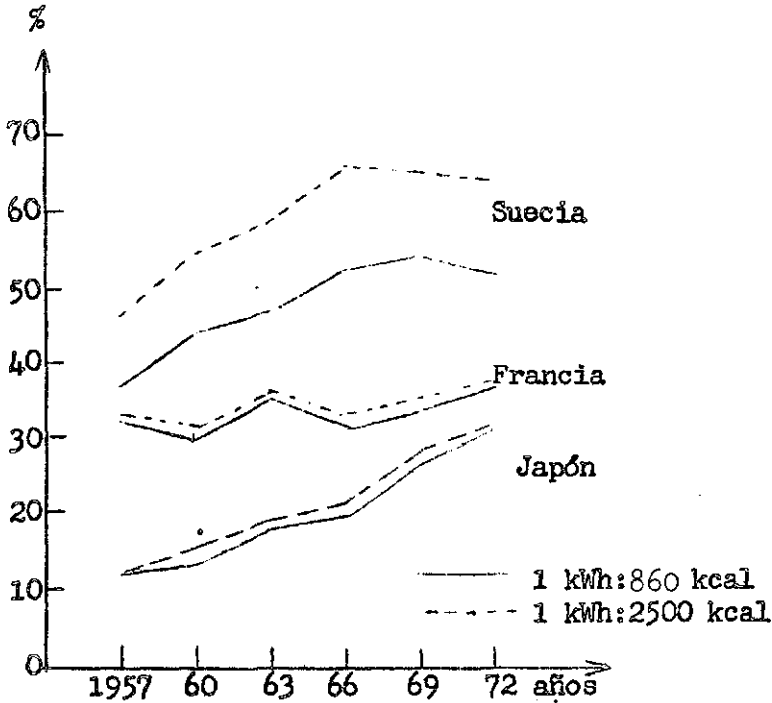
b) Indicadores globales

Las principales conclusiones que se desprenden del cuadro 6 y de los gráficos 1 y 2 son tres:

i) Los consumos de energía primaria por habitante aumentan sin excepción durante el período, en términos

Gráfico 1

CONSUMO DE ENERGIA PRIMARIA
POR HABITANTE, EXPRESADO COMO
FRACCION DEL DE ESTADOS UNIDOS



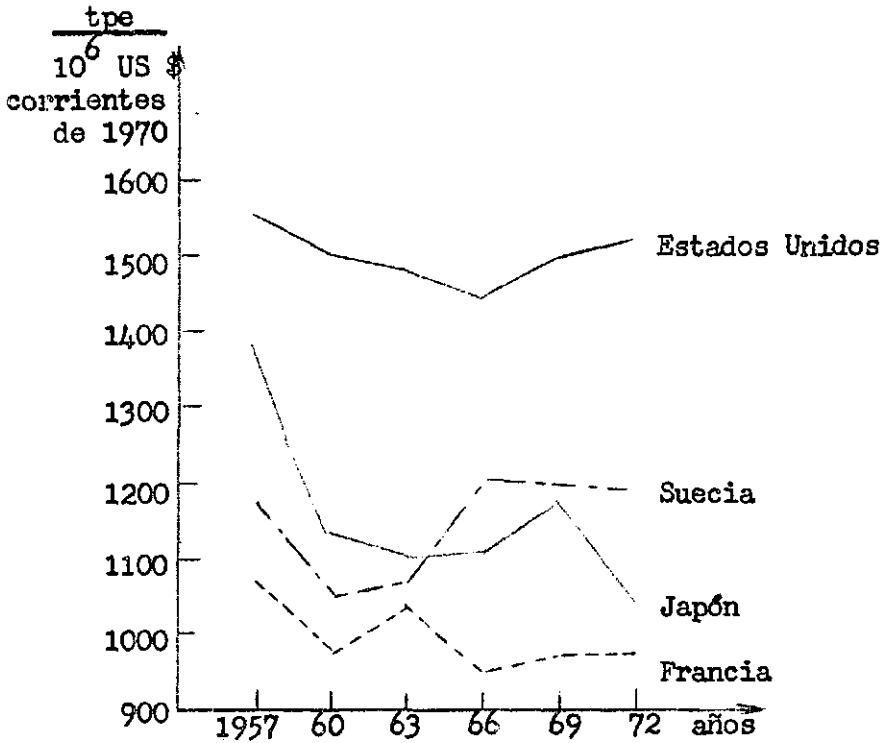
absolutos, con tasas medias acumulativas anuales de 2.61% (Estados Unidos), 3.55% (Francia), 4.86% (Suecia) y 8.80% (Japón);

ii) Los consumos por habitante de Francia, Suecia y Japón aumentan en términos relativos (como porcentaje del de Estados Unidos), aunque con irregularidades; en todo caso, la tendencia en el período analizado es claramente creciente. Este aumento se debe, sin duda, a que las economías de Europa Occidental y Japón crecieron más que la de Estados Unidos, y a una incorporación acelerada y tardía al estilo de desarrollo ascendente, intensivo en el uso del petróleo (la década de 1960 ha sido en este sentido sin precedentes);

iii) No obstante lo anterior, las cifras absolutas y relativas siguen estando por debajo de las de Estados Unidos, manteniéndose el orden decreciente (Suecia, Francia y Japón). (Véase el cuadro 7.)

Gráfico 2

CONSUMO DE ENERGIA PRIMARIA
POR UNIDAD DE PGB



Las observaciones que fluyen de los datos precedentes son, en primer término, que la "eficiencia económica" de la energía es aparentemente inferior en Estados Unidos en relación a los demás países de comparación (menor en un 27%, 45% y 56% que la de Suecia, Japón y Francia, respectivamente, para 1972). 46/ 47/

En segundo lugar, cabe observar que, en el período considerado, el indicador consumo de energía/PGB no presenta tendencias muy claras de aumento o disminución, exceptuando posiblemente el caso de Japón. Se conoce al menos un estudio que señala una tasa anual de aumento del consumo de energía algo mayor que la tasa de crecimiento del producto nacional bruto en el período 1965-1973, como se aprecia en el cuadro 8.

Otro estudio, 48/ aunque también referido al PNB y no al PGB, parece confirmar parcialmente los resultados

Cuadro 7

CONSUMO DE ENERGIA POR UNIDAD DE PRODUCTO a/
 (tpe por 10⁶ dólares de 1970)

Año	Estados Unidos	Francia	Suecia	Japón
1957	1 555	1 061	1 173	1 377
1960	1 508	976	1 053	1 132
1963	1 481	1 030	1 062	1 105
1966	1 444	944	1 194	1 109
1969	1 498	966	1 198	1 173
1972	1 517	970	1 193	1 043

Fuente: Naciones Unidas: World Energy Supplies 1950-1974, Nueva York, 1976.
 OCDE: "National Accounts of OECD Countries", París, 1974.

a/ El PGB está expresado en dólares de 1970 y no se le aplicó corrección por la diferencia de poder adquisitivo, dada la dificultad para evaluar tal factor correctivo. Las cifras del cuadro se representan en el grafico 2.

numéricos mostrados en el cuadro 7. Para el período 1950-1965 el coeficiente de elasticidad energía-PNB es el siguiente: Estados Unidos, 0.81; Francia, 1.00; Suecia, 1.59 y Japón, 1.00. 49/

Con todo, cabe tener presente que indicadores globales como el utilizado en el cuadro 7 no permiten comparaciones totalmente válidas entre países con diferentes estructuras industriales (especialmente en lo que se refiere a industrias de uso muy intensivo de la energía), con diversas condiciones climáticas y con distintos sistemas de precios para la energía. Estos son aspectos exhaustivamente analizados en un estudio anteriormente citado. 50/

c) Evolución de la importancia relativa del carbón, hidrocarburos y electricidad

i) Carbón

Su contribución al balance de energía primaria (valorando la electricidad de origen hidráulico y nuclear mediante el coeficiente técnico en la forma indicada en el cuadro 6), se expresa porcentualmente en el cuadro 9.

La evolución se visualiza en el gráfico 3, donde se puede apreciar con gran nitidez el abandono del carbón en favor de otras fuentes energéticas. A este respecto

son notables los casos de Francia y Japón, en que el carbón contribuía en 1957 entre un 60 y un 70% del abastecimiento de energía primaria; su participación en 1972 fue de menos de un 20%.

Cuadro 8

TASAS DE CRECIMIENTO DEL PNB Y DEL CONSUMO
DE ENERGIA, 1965-1973

(Tasas de aumento, porcentaje anual)

	PNB	Demanda de energía
Estados Unidos	3.7	4.3
Europa	4.6	5.1
Japón	10.5	11.8

Fuente: EXXON: "World Energy Outlook", Exxon Background Series, abril, 1978.

Cuadro 9

IMPORTANCIA RELATIVA DEL CARBON
(Porcentaje de energía primaria)

Año	Estados Unidos	Francia	Suecia	Japón
1957	28.0	67.2	16.3	57.5
1960	23.8	56.4	11.9	51.6
1963	22.9	49.3	8.9	39.8
1966	23.0	38.3	6.0	31.7
1969	20.8	30.3	4.5	25.1
1972	18.7	19.2	3.4	18.8

Fuente: Naciones Unidas: World Energy Supplies, 1950-1974, Nueva York, 1976.

ii) Hidrocarburos

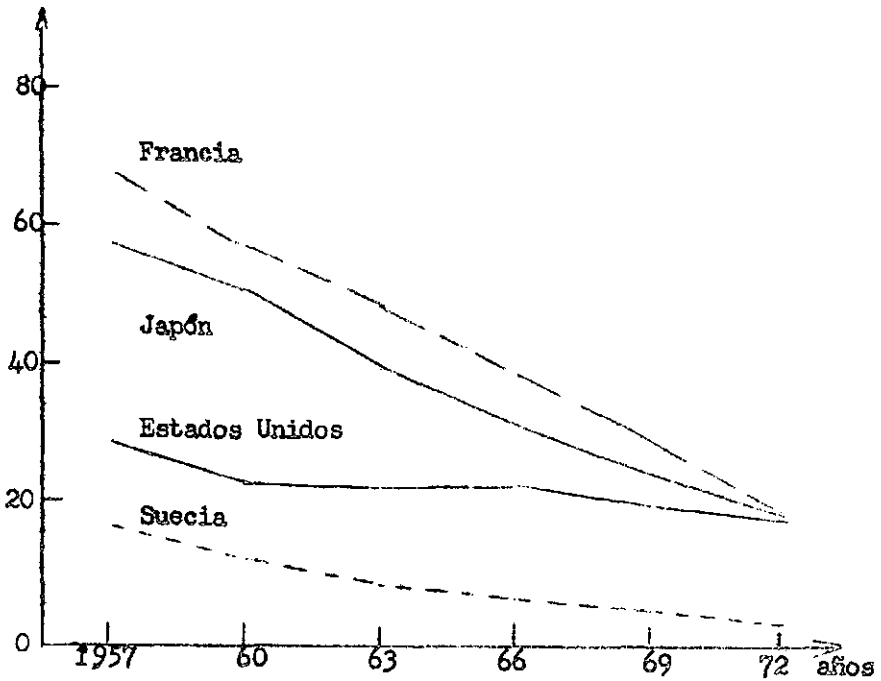
La importancia relativa de los hidrocarburos se ha determinado en forma análoga a la del carbón. Los resultados aparecen en el cuadro 10 y en el gráfico 4.

Se observa, en todos los casos, un aumento de la participación de los hidrocarburos en el abastecimiento energético primario, el cual es especialmente significativo en Francia y Japón (la contribución varía desde entre un 22 y 25% en 1957 hasta un 72% en 1972).

La segunda observación que merecen las cifras del cuadro 10 es que la participación de los hidrocarburos evoluciona

Gráfico 3

IMPORTANCIA RELATIVA DEL CARBON
EN EL TOTAL DE ENERGIA PRIMARIA



Cuadro 10

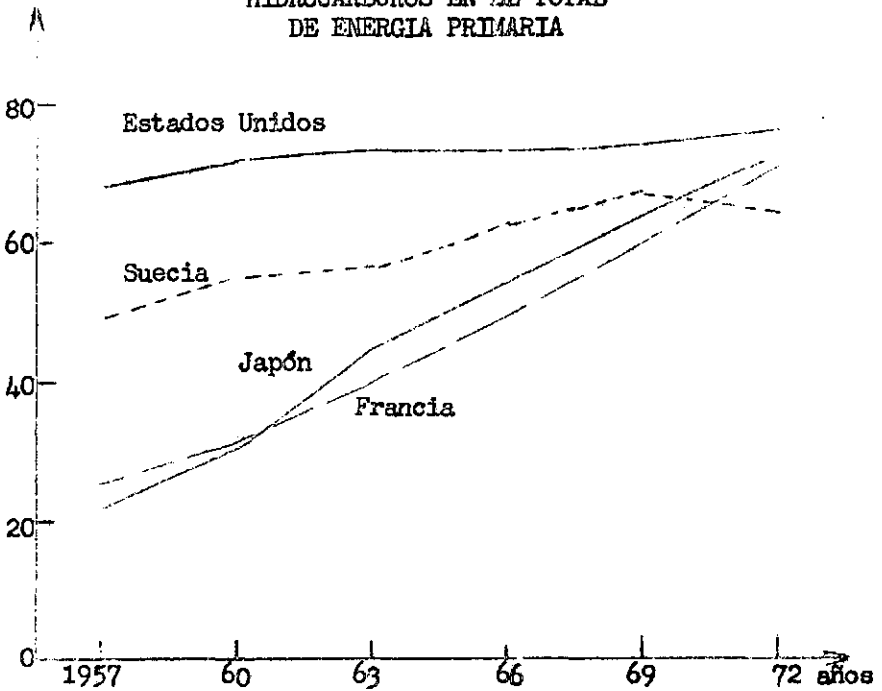
IMPORTANCIA RELATIVA DE LOS HIDROCARBUROS
(Porcentaje de energía primaria)

Año	Estados Unidos	Francia	Suecia	Japón
1957	68.5	25.3	49.1	22.3
1960	72.7	31.8	56.0	31.2
1963	73.4	40.4	56.9	45.5
1966	73.3	49.7	62.6	54.6
1969	74.9	59.4	67.5	64.0
1972	76.5	71.8	64.2	72.4

Fuente: Naciones Unidas: World Energy Supplies, 1950-1974, Nueva York, 1976.

Gráfico 4

IMPORTANCIA RELATIVA DE LOS
HIDROCARBUROS EN EL TOTAL
DE ENERGIA PRIMARIA



de modo que, al término del período considerado, la situación de los cuatro países es sensiblemente igual, acercándose bastante al patrón de consumo de Estados Unidos (existe una incorporación del estilo que hace uso intensivo del petróleo, como se dijo anteriormente).

iii) Electricidad

La contribución de la electricidad (hidráulica, nuclear y térmica tradicional) al abastecimiento energético se presenta en el cuadro 11 y en el gráfico 5.

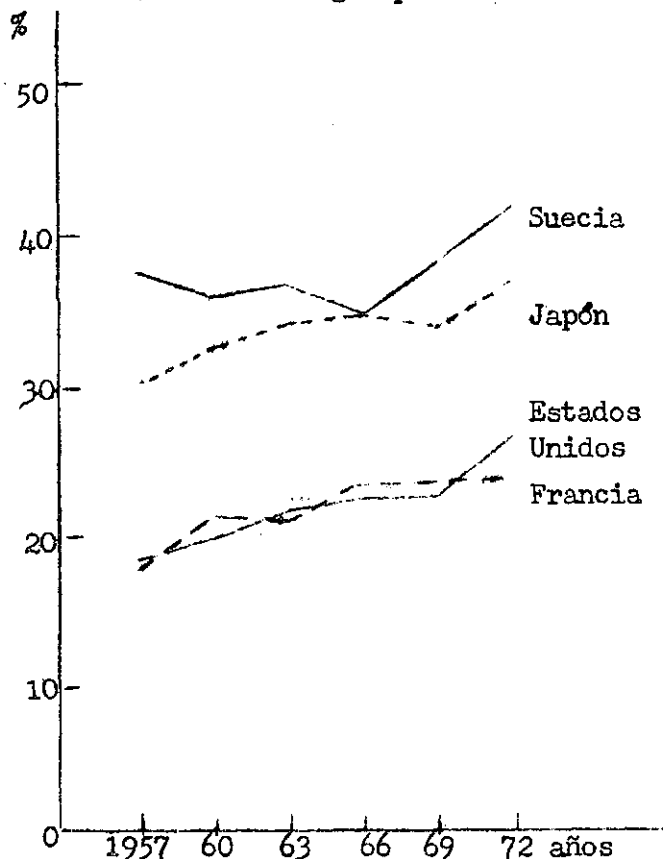
También se ha estimado útil conocer la evolución de la electricidad, expresada como la variación temporal del consumo por habitante, la que puede apreciarse en el cuadro 12 y en el gráfico 6.

Como síntesis de lo que puede inferirse de los antecedentes relativos a la repartición porcentual de energía primaria durante el período considerado, cabe señalar que se observa una clara sustitución de carbón por hidrocarburos, especialmente en Japón y Suecia, donde este aumento de los hidrocarburos sustituye también la participación de electricidad hidráulica y nuclear. En Estados Unidos y

Gráfico 5

IMPORTANCIA RELATIVA DE LA ELECTRICIDAD

% de la energía primaria.



Francia, el aumento de la contribución de los hidrocarburos es algo menor a la disminución de la fracción de carbón, ya que se registra un incremento de la participación de la electricidad hidráulica y nuclear.

Las similitudes mostradas por los cuatro países, especialmente en lo tocante a la importancia relativa de los hidrocarburos y el carbón (exceptuándose Suecia), el notable aumento de la contribución de los hidrocarburos (a expensas de un abandono del carbón, incluso en un país muy bien dotado de este recurso como es Francia) y el incremento sostenido del coeficiente de electrificación, son prueba fehaciente de la penetración lograda por el estilo de desarrollo "ascendente", tanto en Europa occidental como en Japón.

Cuadro 11

IMPORTANCIA RELATIVA DE LA ELECTRICIDAD a/
(Porcentaje de energía primaria)

Año	Estados Unidos	Francia	Suecia	Japón
1957	18.5	17.4	37.0	29.7
1960	20.0	21.0	35.9	32.4
1963	21.6	20.7	36.7	33.9
1966	22.9	23.7	34.9	35.0
1969	22.9	23.7	38.5	33.9
1972	26.6	24.1	42.0	36.9

Fuente: Naciones Unidas: World Energy Supplies, 1950-1974, Nueva York, 1976.

a/ Los porcentajes corresponden al indicador que algunos países denominan "coeficiente de electrificación". Este coeficiente se calculó dividiendo la generación eléctrica de todos los tipos (utilizando el coeficiente técnico de conversión 1 kWh = 2 500 kcal) por la cantidad total de energía primaria (expresada en kcal).

Cuadro 12

CONSUMO DE ELECTRICIDAD POR HABITANTE
(Kgpe por habitante) a/

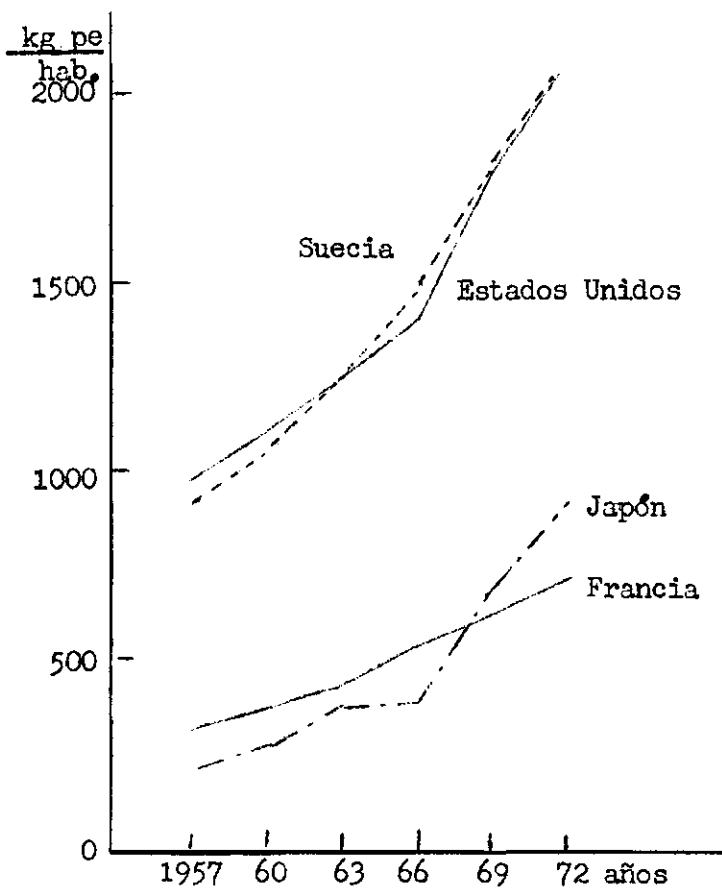
Año	Estados Unidos	Francia	Suecia	Japón
1957	981	305	906	206
1960	1 098	369	1 063	279
1963	1 249	433	1 252	375
1966	1 487	520	1 484	494
1969	1 792	607	1 812	694
1972	2 082	711	2 099	915

Fuente: Naciones Unidas: World Energy Supplies, 1950-1974, Nueva York, 1976.

a/ Para mantener la consistencia con las unidades que se han utilizado hasta ahora, dicho indicador se presenta en kilogramos de petróleo equivalente (kgpe) por habitante a través del coeficiente de conversión antes señalado.

Gráfico 6

CONSUMO DE ELECTRICIDAD POR HABITANTE



III. LAS NECESIDADES FUTURAS EN MATERIA DE ENERGIA: EL CASO DE CHILE

1. Introducción

Existen numerosos estudios acerca de la futura demanda de energía, realizados a nivel mundial, regional, de grupos de países o de países determinados. Por otra parte, ningún estudio sobre el futuro ha dejado de asignar un lugar destacado al análisis de la cuestión energética. Un elemento común a los diferentes modelos o escenarios propuestos en la mayoría, si no en todos, de los estudios relativos a esta cuestión es la hipótesis no explícita que los países en desarrollo irán adoptando, a grandes rasgos, el "estilo de desarrollo ascendente"; que otorga preeminencia a los procesos de industrialización, de metro polización y de modernización de la agricultura, todos ellos vinculados a una transformación de la base energética. Entre sus características destacan la utilización generalizada del petróleo como fuente energética; el crecimiento relativamente más rápido de industrias como la petroquímica y la automotriz, la de los medios de comunicación y las de artefactos electrodomésticos: el aumento en la densidad de capital y el mayor tamaño y concentración geográfica de la actividad económica. 51/ 52/ .

Este capítulo del estudio pretende básicamente comparar las necesidades futuras de energía, en diversas situaciones o escenarios, en el caso de un país determinado. Uno de los escenarios está dado por el estilo de desarrollo vigente y por lo tanto, en gran medida, por las tendencias históricas. Los escenarios alternativos provienen de algunas hipótesis sobre estilos alternativos de desarrollo, referidos, en particular, a la industria, la agricultura, la urbanización y la base energética.

Debe tenerse presente, como quedó claramente en evidencia anteriormente, 53/ que la adopción del modelo de sociedad urbano-industrial no implica necesariamente patrones usuales de consumo de energía. Las diferencias observadas entre países industrializados deben atribuirse, en buena proporción, al grado de penetración del estilo ascendente, que implica una configuración compleja de

factores tales como estructura industrial, tamaño de los países, precios de la energía, etc.

Un primer escenario alternativo se concebirá a partir de patrones de consumo de países industrializados que hacen buen uso de la energía y de acciones que, sin alterar drásticamente el estilo de desarrollo vigente, pueden conducir a una base energética menos dependiente del petróleo y menos lesiva para el medio ambiente.

Un segundo escenario alternativo corresponde a un caso más extremo y altamente especulativo. En él se admite la posibilidad de hacer modificaciones sustanciales en el estilo de desarrollo, las que a su vez implican cambios importantes en la organización de la vida social, en el desarrollo urbano, los modos de transporte, etc. Los cambios y modificaciones postulados responden a la necesidad de explorar la viabilidad de un soporte energético diferente al que sirve de base al estilo ascendente de la civilización urbano-industrial.

Si bien el presente estudio pretende lograr cierto grado de generalidad para los fines del análisis resulta conveniente evitar un exceso de abstracción y concretar las ideas principales refiriéndolas al estudio de un país determinado. Para estos fines, se ha elegido el caso de Chile, por tres razones fundamentales: se trata de un país en desarrollo de América Latina (región que específicamente compete a la CEPAL); existen antecedentes relativamente completos sobre su evolución energética y otros aspectos relevantes para los fines del presente estudio, y se trata además de un país importador de petróleo.

2. Antecedentes históricos

a) Consumo bruto de energía primaria

El período analizado corresponde a 1960-1978, años para los cuales existe suficiente información pertinente en los balances anuales publicados recientemente por la Comisión Nacional de Energía. 54/ (Véase el cuadro 13.)

Como antecedente ilustrativo, el consumo de energía comercial por habitante en Estados Unidos fue, para 1972, de 8.35 tpe por habitante y por año, 8 veces superior al de Chile en el mismo año.

b) Consumo de energía primaria por unidad de producto

Se calculó el cociente energía/producto interno bruto global utilizando los datos del cuadro 13 y las cifras del PIBG que figuran en un estudio reciente de la CEPAL sobre el tema. 55/

c) Contribución de las distintas fuentes primarias de energía

A partir de los datos proporcionados por los balances de energía primaria elaborados por la Comisión Nacional de Energía 56/ se determinó la evolución de la

importancia relativa de las diferentes fuentes primarias, incluyendo la leña y sus subproductos.

Cabe advertir que las cifras calculadas difieren de las que se deducen directamente de dicho documento por la distinta manera de valorar la hidroelectricidad.

Cuadro 13

CHILE: CONSUMO BRUTO DE ENERGIA PRIMARIA a/

Año	Consumo total b/ (ktpe)	Consumo por habitante (tpe/hab/año)
1960	5 275.8	0.696
1965	6 832.1	0.803
1970	8 282.9	0.884
1972	9 683.1	0.997
1975	8 577.4	0.837
1978	9 493.1	0.876

Fuente: Para el consumo de energía primaria, Comisión Nacional de Energía, Balance de energía 1960-1978, Santiago, 1980, cuadro 2.3, Evolución del consumo bruto de productos energéticos primarios. Para la población, CELADE, Boletín Estadístico N° 20.

a/ El consumo bruto de energía primaria está definido como la energía primaria disponible para su transformación en energía secundaria en un centro de producción. Incluye leña y otros.

b/ Bases de cálculo: a) la hidroelectricidad se ha valorado según el coeficiente de sustitución (kcal/kWh) dado por la Empresa Nacional de Electricidad (ENDESA), excepto para los años 1972 y 1978, en que dicho coeficiente fue estimado por la CEPAL; b) la conversión de teracalorías (1 teracaloría = 10^{12} calorías) en toneladas de petróleo equivalente (tpe) se efectuó mediante la equivalencia 1 ktpe = 10.7 Tcal.

La simple observación de las cifras anteriores pone de manifiesto el rápido aumento de la importancia de los hidrocarburos frente a una contribución casi constante de la hidroelectricidad y una disminución del aporte del carbón y la leña.

Además, conviene recordar que Chile importa gran parte del petróleo crudo (84% en 1978).

Cuadro 14

CHILE: CONSUMO DE ENERGIA PRIMARIA POR
UNIDAD DE PRODUCTO

Año	Tpe por 10 ⁶ dólares de 1970
1960	914.7
1965	926.9
1970	928.5
1972	1 008.5
1975	1 102.5
1978	898.3

Fuente: Comisión Nacional de Energía, Balance de energía 1960-1978, Santiago, 1980.

Cuadro 15

CHILE: CONSUMO BRUTO DE ENERGIA PRIMARIA
(Distribución porcentual)

Año	Hidro- electricidad	Carbón	Hidro- carburos	Leña y otros
1960	16.1	24.2	29.7	30.0
1963	15.2	20.6	41.0	23.2
1966	16.0	16.3	47.8	19.9
1969	13.3	15.5	54.7	16.5
1972	14.8	10.6	61.5	13.1
1975	19.2	9.9	56.7	14.2
1978	18.7	9.5	58.4	13.4

Fuente: Comisión Nacional de Energía, Balance de energía 1960-1978, Santiago, 1980.

d) Consumo de electricidad por habitante y coeficiente de electrificación

El cuadro 16 permite seguir la evolución histórica del coeficiente de electrificación, el cual muestra un aumento sostenido, salvo una pequeña caída en 1970. Este aumento es característico no sólo de los países en desarrollo, sino que también de los países industrializados (véase nuevamente el cuadro 11).

Cuadro 16

CHILE: CONSUMO DE ELECTRICIDAD POR HABITANTE Y
COEFICIENTE DE ELECTRIFICACION

Año	Consumo electricidad por habitante (kgpe/hab) a/	Coefficiente de electrificación (porcentaje) b/
1960	172	24.8
1965	212	26.4
1970	224	25.4
1975	229	27.4
1978	249	28.4

Fuente: ENDESA, Producción y consumo de energía, 1978.

a/ La hidroelectricidad se valoró a través del coeficiente de sustitución indicado por la fuente. Este indicador se expresa en petróleo equivalente por habitante por razones de consistencia con el resto del estudio.

b/ El coeficiente de electrificación obedece a la definición indicada en el capítulo II de este estudio. Las cifras del cuadro no coinciden con las de la fuente porque aquí se ha incluido leña y otros. Al excluir la leña, el coeficiente debe aumentar.

e) Coefficiente de elasticidad energía/producto

Es útil conocer el comportamiento histórico del coeficiente de elasticidad energía/PIB. Este se ha calculado para dos periodos: 1950-1975 y 1960-1971, incluyendo para el primero de ellos a otros países de América Latina.

También se calculó dicho coeficiente para Chile en el período 1960-1971, de acuerdo con los datos de la Comisión Nacional de Energía. La cifra alcanzó a 1.159, incluyendo la leña.

3. Necesidades futuras de energíaa) Escenario de referenciai) Supuestos generales

El escenario de referencia está estrechamente vinculado al estilo de desarrollo vigente y, por lo mismo, está determinado en buena medida por las tendencias históricas. Ya que el presente estudio no se propone elaborar proyecciones de la demanda de energía, el escenario de referencia se determinará sobre la base de estudios anteriores. 57/ Estos entregan cifras que no son

Cuadro 17

COEFICIENTE DE ELASTICIDAD ENERGIA/PIB, 1960-1975

País	Coefficiente
Argentina	1.208
Brasil	1.019
Chile	1.046
México	1.202

Fuente: Para el PIB, CEPAL: América Latina y el Caribe: Producto interno bruto global e industrial y estructura del sector manufacturero desde 1950 hasta fines de la década de 1970, E/CEPAL/L.236, Santiago, 1982. Para Argentina y Chile, datos de consumo de energía de J. Mullen, "Energy in Latin America: The Historical Record", en Cuadernos de la CEPAL, 1978. Para Brasil y México, CEPAL, Consumo energético en la industria manufacturera: el caso de Brasil, E/CEPAL/PROY.2/R.46, Santiago, 1979.

directamente comparables, por cuanto, por ejemplo, el consumo de energía del país se ha considerado en algunos casos como consumo total y en otros como consumo a nivel de usuarios finales, o bien no se ha hecho la distinción; algunos autores incluyen la energía no comercial (leña y otros); para la hidroelectricidad se han adoptado diferentes equivalentes calóricos; por su parte el estudio PNUD-OLADE indica tasas de crecimiento y consumos proyectados para el conjunto de países Bolivia-Chile-Perú.

Con todo, no existe una discrepancia demasiado fuerte en el mediano plazo (10 años). Por ejemplo, para el año 1990, el valor más bajo (Alvarado-Schmidt) es de aproximadamente 11.7 Mtpé, que corregido (incluyendo consumos en centros de transformación, valorando la hidroelectricidad mediante el coeficiente de sustitución e incorporando combustibles vegetales) podría elevarse a unos 17.6 Mtpé. El valor más alto (Trénova) es de aproximadamente 16.3 Mtpé y corresponde a una hipótesis de tasa alta de crecimiento del PIB; si se incluye la leña y se adopta una tasa menor de crecimiento que el mismo autor propone (5.3% como promedio anual para el período 1980-2000) se llegaría a una cifra del orden de 16.7 Mtpé.

Para el año 2000, las cifras corregidas en forma análoga muestran un rango que va aproximadamente de 23.7 Mtpé (Pedrals) a 31.5 Mtpé (Trénova). En este caso la discrepancia es ciertamente mayor, y podría explicarse

por los diferentes coeficientes de elasticidad energía/PGB que se han postulado. En el primer caso se indica explícitamente la adopción de un coeficiente de elasticidad menor que 1.0 (0.85 para el período 1985-1990 y del orden de 0.70 para los siguientes 10 años). En cambio, en el segundo caso el coeficiente de elasticidad es muy próximo a 1.0 (0.98). Es conveniente señalar que la Comisión Nacional de Energía estima los siguientes coeficientes de elasticidad: 1960-1971: 1.10; 1975-1978: 0.82; 1975-1980: 0.66. 58/

Como no se pretende efectuar pronósticos ni tampoco calificar los ya realizados, se adoptarán algunas hipótesis plausibles que permitan realizar el ejercicio conceptual y metodológico planteado. 59/ Ahora bien, según estimaciones de la CEPAL, la tendencia de crecimiento del PIB para el período 1950-1970 fue de un 4.3% anual. En la década de 1970 se registraron tasas superiores (salvo en los años 1972 a 1975). Sin embargo, las elevadas tasas de años recientes no podrían mantenerse, a menos que aumenten en forma muy sustancial las inversiones.

Por otra parte, admitiendo que existe una correlación entre producto y consumo de energía, y considerando que uno de los postulados del presente estudio es un crecimiento económico alto y sostenido, se adoptará como hipótesis que el PIB aumenta a una tasa media del 6% en el horizonte de tiempo señalado, cifra que corresponde justamente a la hipótesis de tasa alta en un estudio de Trénova. 60/

En cuanto al coeficiente de elasticidad energía-producto, y en función de los antecedentes históricos y de las estimaciones de los diferentes estudios citados, parece prudente considerar que dicho parámetro evolucionará en forma decreciente. Avala la hipótesis anterior lo que ya ha ocurrido en varios países industrializados, descartando los posibles efectos de recesiones económicas, debido a un uso más eficiente de la energía y a la importancia creciente de actividades industriales que hacen un uso poco intensivo de la energía.

Sin embargo, no resulta lógico suponer que el proceso de mejoramiento en la eficiencia con que se usa la energía en la industria y en la minería, para citar dos sectores de alto consumo, pueda continuar indefinidamente sin mediar cambios tecnológicos sustanciales y las consiguientes inversiones para su aplicación. En otras palabras, los programas de ahorro de energía son, inicialmente, de gran efectividad y requieren inversiones de poca cuantía. Pero luego dichos programas se tornan técnica y económicamente más complejos, e incluso puede llegarse a un límite técnico que no se puede traspasar sin modificaciones sustanciales en los procesos productivos. En el largo plazo

tendrán que ocurrir ciertamente tales modificaciones y a la vez se irán incorporando al sector industrial actividades productivas que hagan uso menos intensivo de la energía (industrias livianas de tecnología avanzada, tales como la electrónica y la de comunicaciones).

Observando el cuadro 17 se advierte que los coeficientes de elasticidad en períodos recientes son superiores al 1.0. Se podría aceptar como supuesto que en Chile dicho coeficiente desciende a 0.9 en el período 1980-1985 y posteriormente a 0.85 en el período 1985-1990 (como postula Pedrals). ^{61/} Luego dicho coeficiente se mantendría en el último valor hasta 1995, momento a partir del cual y hasta el horizonte de tiempo del estudio alcanzaría un valor medio de 0.70. ^{62/}

De acuerdo a las hipótesis planteadas para Chile, las tasas de crecimiento del consumo de energía primaria (incluyendo leña y otros) serían las que se presentan en el cuadro 18.

Cuadro 18

CHILE: ESTIMACIONES DE LAS TASAS DE CRECIMIENTO DEL CONSUMO DE ENERGIA PRIMARIA

Período	Tasa de crecimiento de la energía	Coefficiente de elasticidad energía-producto
1978-1985	5.4 ^{a/}	0.90
1985-1995	5.1	0.85
1995-2010	4.2	0.70

Fuente: Estimaciones basadas en las hipótesis del presente estudio.

^{a/} Cabe observar que esta tasa es muy similar a la del período 1960-1972 (5.2%), lo cual equivale a mantener aproximadamente la tendencia histórica de la etapa previa a la recesión económica mundial y nacional experimentada a partir de 1973.

De acuerdo con estas tasas de crecimiento, los consumos brutos de energía primaria (totales y por habitante) serían los presentados en el cuadro 19.

Es obvio que este escenario de referencia es altamente hipotético y no ha considerado la posible influencia de factores que podrían alterarlo. Entre sus premisas importantes, se cuenta que el crecimiento económico sea alto y sostenido y que, en consecuencia, no se produzcan dentro del horizonte de tiempo del estudio recesiones económicas. La experiencia histórica reciente

demuestra claramente que las recesiones económicas provocan una baja inmediata en los consumos de energía. Así, por ejemplo, el consumo de energía en Chile para 1975 fue inferior en un 13% al de 1972. Los países industriales en su conjunto experimentaron en 1973-1976 una tasa real de crecimiento del PNB de 1.5% anual y en el mismo período la demanda de energía decreció a una tasa del 0.1% anual. 63/

Cuadro 19

CHILE: CONSUMO BRUTO DE ENERGIA PRIMARIA

(Escenario de referencia)

Año	Consumo total (Ktpe)	Consumo por habitante (tpe/hab/año)
1978	9 493	0.876
1985	13 718	1.136
1995	22 559	1.609
2010	41 815	2.780

Fuente: Estimaciones basadas en las hipótesis del presente estudio, las proyecciones de población de CELADE, Boletín Demográfico Nº 23, 1979 y datos de la Comisión Nacional de Energía, Balance de Energía 1960-1978, Santiago, 1978

El siguiente paso consiste en especificar algo más en el escenario de referencia, intentando desagregar el consumo global de energía por fuentes y por sectores.

Para estos fines se utilizarán también como base algunos de los estudios ya mencionados.

Respecto de la información contenida en el cuadro 20, caben las siguientes consideraciones:

- Hidroelectricidad: las tres estimaciones le asignan una contribución importante, sólo menor que la de los hidrocarburos, y no difieren muy apreciablemente (dos estimaciones son prácticamente coincidentes en 30-31%).
- Geotermia: la participación estimada en los tres casos es despreciable.
- Energía nuclear: la reciente decisión de la autoridad de postergar el proyecto nucleoelectrico hace muy improbable una participación como la indicada.
- Carbón: las tres estimaciones coinciden en asignarle una contribución que es la tercera en importancia.
- Hidrocarburos: aparece en todos los casos como

la fuente más importante. El valor más bajo (42%) obedece aparentemente a que supone un mayor grado de sustitución por carbón y otras fuentes (biomasa y energía solar).

Para los efectos del presente estudio se adoptarán como hipótesis de trabajo, en cuanto a la contribución de las distintas fuentes al abastecimiento energético, las siguientes: en el corto plazo (1990), una contribución similar a la actual; en el largo plazo (2010), una similar a la indicada en el cuadro 20 para el año 2000.

Cuadro 20

CHILE: ESTIMACIONES DE CONSUMOS DE ENERGIA
POR FUENTES EN EL AÑO 2000

(Distribución porcentual)

	Primera estima- ción <u>a/</u>	Segunda estima- ción <u>b/</u>	Tercera estima- ción
Hidroelectricidad	23.8	29.5	30.9
Geotermia	0.3	1.5	0.1
Energía nuclear	6.6	9.0	2.5
Carbón	8.6	13.5	11.4
Hidrocarburos	60.7	42.0	54.0
Otros (solar, biomasa)	-	5.5	1.1

Fuente: Para la primera estimación, Trénova, J., Perspectivas de la energía solar como sustituto del petróleo en América Latina hasta el año 2000, E/CEPAL/PROY.2/R.15/Rev.1, 1979 (porcentajes calculados a partir del cuadro 16); para la segunda estimación, Pedrals, J., Energía 1979/1990, 1979; para la tercera estimación, Alvarado, S., y Schmidt, R., La energía solar en el balance energético nacional, XV Convención de UPAD, Santiago, 1978 (porcentajes calculados para valorar la hidroelectricidad mediante el coeficiente de sustitución (2 500 kcal/kWh)).

a/ Considera sólo energía comercial.

b/ El total no suma 100% debido a las aproximaciones.

También interesa proyectar el coeficiente de electrificación. La tendencia histórica del período 1960-1978 representa una tasa anual de aumento del consumo de electricidad por habitante de un 2.1% y del coeficiente de electrificación de un 0.8% (véase nuevamente el cuadro

16). Para el mismo período, la tasa anual de crecimiento del consumo de energía primaria por habitante fue de 1.3%.

En otros términos, la electrificación del país se ha realizado a una velocidad que supera la del consumo global de energía, fenómeno bien conocido y anteriormente señalado por la ENDESA. ^{64/} Por lo demás, el mismo fenómeno se ha observado en los países industrializados, como se ha señalado en el capítulo II.

El escenario de referencia adoptado implica, para el incremento del consumo de energía primaria, una tasa media anual del 4.7% (véase nuevamente el cuadro 19). Por consiguiente, la electrificación debería crecer a una tasa superior, que se estima en 5.5%. Con esta última cifra, el coeficiente de electrificación llegaría en 2010 a un 37%.

Cuadro 21

CHILE: CONTRIBUCION PORCENTUAL DE LAS FUENTES
ENERGETICAS PRIMARIAS

(Escenario de referencia)

	1978	1990	2010
Hidroelectricidad ^{a/}	18.7	23	30
Geotermia	-	-	1
Energía nuclear	-	-	3
Carbón	9.5	12	12
Hidrocarburos	58.4	55	50
Otros (biomasa, solar)	13.4	10	4

Fuente: Para 1978, Comisión Nacional de Energía, Balance de Energía 1960-1978, Santiago, 1978. Para 1990 y 2010, las hipótesis del presente estudio.

^{a/} En Chile la hidroelectricidad, históricamente, se ha duplicado cada 11 años; esta proyección implica la misma tasa de crecimiento.

ii) Análisis sectorial

a. Transporte

El transporte aparece muy estrechamente asociado al estilo de desarrollo. Por una parte, la urbanización y el fenómeno de metropolización han colocado al transporte urbano de personas entre los problemas más importantes de la sociedad moderna. Por otra, el transporte, como sector de consumo de energía, representa una fracción considerable del consumo total, del orden de un 25% (que alcanza a un 33% si sólo se computan los usos

finales de la energía). También cabe anotar que en el estilo de desarrollo vigente el transporte por carreteras, sea intra o inter-urbano, ha ido desplazando fuertemente a otros modos de transporte (tranvías y ferrocarriles). Finalmente, debe señalarse que el automóvil, símbolo de la sociedad urbano-industrial, consume alrededor de un tercio de toda la energía que ocupa el sector transporte, proporción que tiende a aumentar (en Estados Unidos dicha proporción alcanza a la mitad).

En Chile, el sector transporte ha representado históricamente (1960, 1970 y 1978) entre un 23% y un 24.4% del consumo total de energía. 65/ Se supondrá que en el año 2010 el transporte utilizará un 25% de la energía total. La Fundación Bariloche ha estimado para América Latina en su conjunto, un 23.7% al año 1995. 66/ Por consiguiente, el valor absoluto sería de 10 454 Ktpe (véase nuevamente el cuadro 19).

Por otra parte, es posible relacionar la tasa de motorización (autos/1 000 habitantes) con el porcentaje de viajes urbanos en automóvil. Se dispone de información para varios países industrializados y para Chile sobre este aspecto, la que se sintetiza en el cuadro 22.

Cuadro 22

RELACION TASA DE MOTORIZACION - VIAJES URBANOS
 EN AUTOMOVIL

País	Tasa de motorización (autos/1 000 hab) a/	Porcentaje de viajes urbanos en automóvil
Estados Unidos	492	95
Suecia	323	55
Japón	144	22
Reino Unido	246	57
Chile	26	12 b/

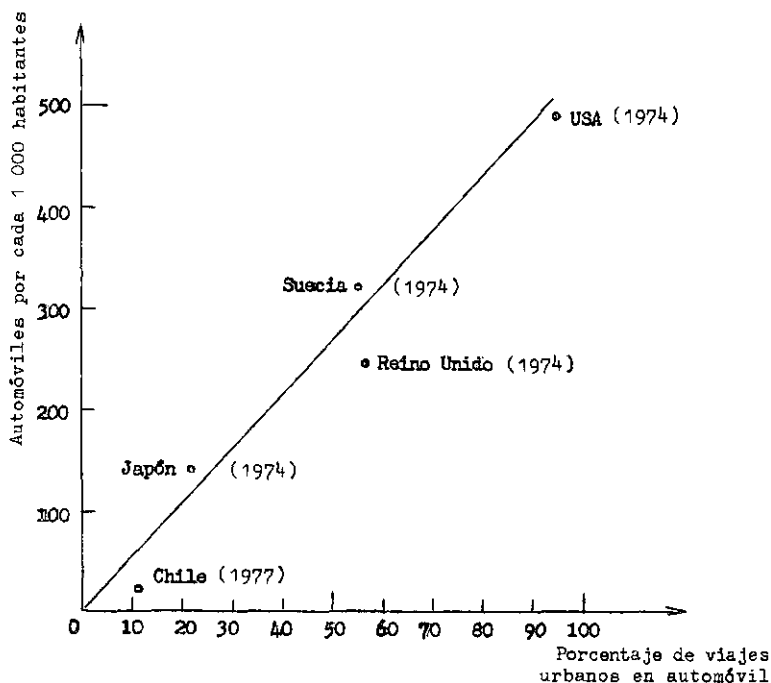
Fuente: J. Darmstadter et al, How Industrial Societies Use Energy. A Comparative Analysis, Johns Hopkins University Press, Baltimore, 1977; Universidad Católica de Chile, Departamento de Ingeniería de Transporte, Encuesta origen y destino, 1977; E. Lukaschewsky, Eficiencia en el uso de energía en Chile, memoria de título, Universidad de Chile, 1980; OCDE, Energy Conservation in the International Energy Agency, 1976 Review, 1976; y, para el porcentaje de viajes urbanos en automóvil en Suecia, L. Schipper y A.J. Lichtenberg, "Efficient Energy Use and Well-being: The Swedish Example", en Science, 1978.

a/ Las cifras corresponden a 1974 para todos los países excepto Chile, cuya cifra es de 1977.

b/ Cifra recalculada excluyendo viajes a pie.

Gráfico 7

RELACION TASA DE MOTORIZACION - PORCENTAJE VIAJES URBANOS EN AUTOMOVIL



El gráfico 7 muestra una clara correlación entre ambas variables.

Se supondrá que al año 2010 la tasa de motorización en Chile llega a un valor igual a 300, que es el promedio de 1972 de los países industrializados considerados por Darmstadter et al, con lo cual se tendría, del gráfico 1, el porcentaje de viajes urbanos (54%).

El consumo de gasolina en el subsector transporte terrestre fue de 975 ktpc en 1977. Los automóviles de la Región Metropolitana constituyen el principal grupo consumidor de gasolina (sobre 60% del total de la gasolina automotriz consumida en el país), 67/ por lo cual sería aceptable establecer una proporcionalidad entre porcentajes de viajes urbanos en auto con los consumos de gasolina del sector, corrigiendo por el aumento de población. 68/

Así se llega a una cifra de 6 246 ktpe para la gasolina terrestre en 2010.

El transporte terrestre consumió en 1977 el 76.0% de la energía del sector. 69/ Se supone que el transporte terrestre ganará importancia y llegará a representar un 81.5% en 2010 (incremento igual a los puntos de aumento de la gasolina entre 1977 y 2010).

Los cuadros 23 y 24 resumen las proyecciones de acuerdo a las hipótesis adoptadas y a estimaciones respecto del transporte ferroviario, marítimo y aéreo.

Cuadro 23

CHILE: SITUACION ENERGETICA DEL SECTOR TRANSPORTE
PROYECTADA AL AÑO 2010
(Escenario de referencia)

Subsector		ktpe 2010	2010 %	1978 %
Transp. terrestre:	gasolina	6 246		
	pet. diesel	2 234		
	electricidad	40		
	<u>Subtotal</u>		<u>8 520</u>	<u>81.5</u> <u>76.0</u>
Transp. marítimo:	pet. diesel	887		
	pet. comb.	157		
	<u>Subtotal</u>		<u>1 044</u>	<u>10.0</u> <u>10.4</u>
Transp. aéreo:	kerosene av.	751		
	gasolina av.	23		
	<u>Subtotal</u>		<u>774</u>	<u>7.4</u> <u>8.5</u>
Transp. ferroviario:	pet. diesel	87		
	electricidad	23		
	carbón	6		
	<u>Subtotal</u>		<u>116</u>	<u>1.1</u> <u>5.1</u>
	<u>Total</u>	<u>10 454</u>		

Fuente: Proyecciones basadas en las hipótesis del presente estudio. Se incluyó el año 1978 con fines comparativos, sobre la base de cifras publicadas por la Comisión Nacional de Energía.

b. Sector residencial-comercial

Este sector, al igual que el de transporte, está íntimamente ligado al estilo de desarrollo. La urbanización ha significado un aumento considerable en el consumo de hidrocarburos (petróleo, kerosene, gas licuado de petróleo) y un abandono de otros combustibles ampliamente utilizados en el sector rural (biomasa). También ha significado mayores necesidades de electricidad (iluminación artificial, electrodomésticos, ascensores, etc.).

Cuadro 24

CHILE: REPARTICION POR FUENTE DEL CONSUMO
EN TRANSPORTE

(Escenario de referencia)

	1978	2010	
	(porcen tajes)	ktpe	Porcentajes
Gasolina	52.2	6 246	59.7
Petróleo diesel	31.1	3 208	30.7
Petróleo combustible	4.3	157	1.5
Gasolina de aviación	0.5	23	0.2
Kerosene de aviación	8.0	751	7.2
Electricidad	0.8	63	0.6
Carbón	3.0	6	0.1
Otros	0.1	-	-
<u>.Total</u>	<u>100.0</u>	<u>10.454</u>	<u>100.0</u>

Fuente: Proyecciones basadas en las hipótesis del presente estudio. Para el año 1978, cifras publicadas por la Comisión Nacional de Energía.

En Chile, este sector ha representado históricamente dentro del consumo total de energía un 23.6% y un 23.1% para 1970 y 1978, respectivamente. 70/ Se supondrá que al año 2010 utiliza un 22%. El estudio de la Fundación Bariloche asigna valores lentamente decrecientes (salvo para Brasil) a los distintos grupos de países de América Latina. 71/

Por consiguiente, se tendrá para este sector en el año 2010 un consumo de 9 200 ktpe (véase nuevamente el cuadro 19).

En 1977, según E. Lukaschewsky, 72/ la distribución porcentual por subsectores es la que se detalla en el cuadro 25.

Se supondrá que la proporción combustibles/electricidad es 81/19 (utilizando la equivalencia teórica de esta última) para el año 2010, de acuerdo a la tendencia histórica observada. 73/

De este modo se tendría la siguiente situación proyectada al año 2010. (Véase el cuadro 26).

Cuadro 25

CHILE: SECTOR RESIDENCIAL-COMERCIAL.
DISTRIBUCION POR SUBSECTORES (1977)

Subsector	Combustibles (porcentajes)	Electricidad (porcentajes)
Residencial	91.7	54.7
Comercial	1.6	16.4
Fiscal y municipal	6.7	18.9
<u>Fuente:</u> E. Lukaschewsky, <u>Eficiencia en el uso de la energía en Chile</u> , memoria de título, Universidad de Chile, 1980.		

Cuadro 26

CHILE: SECTOR RESIDENCIAL-COMERCIAL.
DISTRIBUCION POR SUBSECTORES (2010)

(Escenario de referencia)

Subsector	Combustibles		Electricidad		Total	
	Ktpe	Porcen- tajes	Ktpe	Porcen- tajes	Ktpe	Porcen- tajes
Residencial	6 834	91.7	956	54.7	7 790	84.7
Comercial	119	1.6	287	16.4	406	4.4
Fiscal y municipal	499	6.7	505	28.9	1 004	10.9
<u>Total</u>	<u>7 452</u>	<u>100.0</u>	<u>1 748</u>	<u>100.0</u>	<u>9 200</u>	<u>100.0</u>

Fuente: Proyecciones basadas en las hipótesis del presente estudio.

En cuanto a la distribución del consumo por tipo de combustible, de acuerdo con la tendencia histórica, puede esperarse que sea la que se indica en el cuadro 27.

c. Industria

La industrialización aparece como uno de los procesos relevantes y característicos del estilo de desarrollo vigente. Para los fines del presente estudio, es particularmente importante por cuanto presenta una participación alta y sostenidamente creciente en el balance energético nacional.

En Chile la industria 74/ ha representado entre un 25 y un 30% del consumo total de energía (1960 y 1978, respectivamente), según datos publicados por la Comisión Nacional de Energía. 75/ (En Brasil, por ejemplo, dicho porcentaje ha sido de 34% (1970) y 39.5% (1975)). 76/

Cuadro 27

CHILE: SECTOR RESIDENCIAL-COMERCIAL.
CONSUMO DE COMBUSTIBLES (2010)

(Escenario de referencia)

	<u>Ktpe</u>
Kerosene y gas licuado	4 232
Gas corriente y natural	1 380
Leña	920
Petróleo diesel y combustible	828
Carbón	92
<u>Total</u>	<u>7 452</u>

En los países industrializados el porcentaje, salvo algunos casos (como Japón) es algo inferior a las últimas cifras antes indicadas, circunstancia que debe atribuirse a la mayor importancia que ha alcanzado en dichos países el sector terciario de la economía y al desarrollo de industrias de uso menos intensivo de la energía.

Por ejemplo, en los cuatro países industrializados que se analizaron en el segundo capítulo, para 1972, los porcentajes del consumo total de energía son: Estados Unidos, 20.9%; Francia, 27.5%; Suecia, 25.9% y Japón, 38.9%. 77/

En cuanto a la evolución futura, hay tendencia a un aumento sostenido en el mediano plazo. El estudio prospectivo de la Fundación Bariloche 78/ indica, para el conjunto de países de América Latina, las siguientes cifras: 43.0, 45.0 y 46.9% (1975, 1985 y 1995, respectivamente). Estas cifras incluyen la industria energética (centros de transformación) cuyo consumo, en el caso de Chile, es del mismo orden de magnitud que el de la industria propiamente tal.

Se adoptará como hipótesis que este sector aumenta su participación relativa por sobre el 30% en el mediano plazo (1980-1995), para luego disminuirla a dicho valor en el largo plazo (1995-2010). Esta hipótesis guarda coherencia con lo planteado en la parte general del escenario de referencia y con las consideraciones que se expondrán a continuación. En conformidad con ella, el sector industrial utilizaría en 2010 aproximadamente 12 545 ktpe. Al examinar la estructura del sector se observa que cinco subsectores -cobre, papel y celulosa, siderurgia, cemento y azúcar- dieron cuenta del 63% del consumo sectorial en 1978. El cobre representa, por su parte,

un 25%, lo que sugiere que la forma en que evolucionen esos cinco subsectores será determinante en el futuro consumo energético de la industria nacional.

Con respecto al cobre, principal usuario de energía, cabe señalar que los yacimientos en explotación presentan una disminución de la ley (fenómeno enteramente normal que afecta a muchos recursos minerales), lo cual se traduce en mayores consumos específicos y por consiguiente en una mayor cantidad de energía para iguales volúmenes de producción. 79/ Esta situación, sin embargo, se puede ver compensada parcialmente por medidas tendientes a mejorar la eficiencia en el uso de la energía.

El consumo energético del subsector papel y celulosa ha experimentado un gran crecimiento: entre 1960 y 1978 la energía utilizada se cuadruplicó. Pero, mientras en todo el sector industrial la contribución de la leña y otros desechos vegetales alcanza a un 15.8%, las fábricas de papel y celulosa satisfacen sus necesidades energéticas en un 64.2% mediante dicho recurso, con una tendencia claramente creciente a una mayor sustitución de petróleo combustible. 80/

La siderurgia no registra históricamente (período 1960-1978) un aumento significativo de los insumos energéticos. Sin embargo, existen planes para incrementar considerablemente los actuales niveles de producción, y para adoptar conjuntamente medidas para disminuir el consumo específico. 81/

Los subsectores del cemento y del azúcar muestran insumos energéticos declinantes en el período. En el mediano y largo plazo deberán producirse aumentos, especialmente en el primero de ellos.

Respecto de otros subsectores, puede suponerse, de acuerdo a la tendencia histórica, que los insumos energéticos del salitre perderán importancia (tanto en valor absoluto como relativo), pero que en cambio aumentarán los de la industria petroquímica (representan actualmente 1% del sector) y los de la industria alimenticia.

Observando las tendencias de la estructura del consumo 82/ se puede estimar la siguiente situación para el año 2010, que se plantea en el cuadro 28.

d. Agricultura

Uno de los procesos que caracterizan el estilo de desarrollo vigente es la modernización de la agricultura, entendida como la adopción de un "paquete" tecnológico que implica altos insumos de energía comercial. Por ese motivo se incluye este sector en el análisis, a pesar de que la agricultura de producción representa un bajo porcentaje (del orden del 3%) del total nacional de consumo de energía. (Véase el anexo 2, relativo a la energía en la agricultura y la alimentación).

Cuadro 28

CHILE: SECTOR INDUSTRIAL-DISTRIBUCION POR FUENTE

(Escenario de referencia)

	Ktpe (2010)	Porcen taje (2010)	Porcentaje 1978 (com- parativo)
Derivados del petróleo y gas natural	5 645	45.0a/	48.1
Carbón	1 882	15.0	9.4
Leña y otros desechos vegetales	1 254	10.0b/	15.8
Coke, gas de altos hornos, etc.	1 004	8.0	9.1
Electricidad	2 760	22.0	17.6
<u>Total</u>	<u>12 545</u>	<u>100.0</u>	

Fuente: Estimaciones basadas en las hipótesis del presente estudio.

a/ Supone una alteración de la tendencia: el carbón sustituye parte de los hidrocarburos.

b/ La participación porcentual de esta fuente se reduce, pero su valor absoluto aumenta 3 veces desde 1978.

Las estimaciones y proyecciones son más difíciles en el caso de la agricultura, puesto que se carece en Chile de información desagregada, tanto para la agricultura de producción como para la agroindustria o la industria alimenticia.

Los antecedentes disponibles son fragmentarios. En 1974, los equipos agrícolas consumieron 112 ktpe (energía que se supone es la necesaria para mover la maquinaria: tractores, cosechadoras, etc.) y el riego utilizó $20 \cdot 10^6$ kWh (1.6 ktpe). 83/ Estas cifras ciertamente corresponden a una sola parte de los insumos energéticos de la producción agrícola chilena, ya que representan apenas el 1.7% del total de la energía consumida por el país (usos finales) en 1974; 84/ falta, desde luego, incluir residuos vegetales y combustibles no tradicionales. En todo caso, se puede afirmar que los hidrocarburos constituyen la base energética de la agricultura (los datos parciales antes mencionados arrojan un 98.6% de derivados del petróleo y un 1.4% de electricidad).

Respecto de la cantidad total de energía usada por la agricultura, existen estimaciones que la sitúan entre 2 y 3% del total nacional. 85/ Se podría suponer que en

el futuro aumentarán los insumos energéticos comerciales (maquinarias, fertilizantes, riego y plaguicidas) aunque no se modificará sensiblemente la participación porcentual en el balance energético nacional; este se acercará al promedio de los países desarrollados (3.4%). ^{86/} Se trabajará con esta cifra como hipótesis de trabajo, la que representa en valor absoluto 1 422 ktpe en el año 2010.

e. Energía

Además de los sectores usuarios de energía (transporte, industria, residencial-comercial, agricultura), a los que ya se ha hecho referencia, es preciso considerar el sector productor y transformador de energía, que a su vez consume combustibles y electricidad. Este sector se denomina también "centros de transformación". Algunos autores lo subdividen en "pérdidas de transformación" (las producidas al convertir una forma de energía en otra; por ejemplo, combustibles en electricidad) y sector energía propiamente tal (consumos propios de refinerías, centrales, etc.). Algunos balances nacionales de energía incluyen también consumo los usos no energéticos de los combustibles (por ejemplo, las materias primas para la petroquímica). El presente estudio no aplica dicha subdivisión del sector energía, ni tampoco toma en cuenta los combustibles utilizados como materia prima para la industria química.

El subsector petróleo (extracción de petróleo y gas natural y refinación de hidrocarburos) consume una cantidad significativa de hidrocarburos y una cantidad despreciable de electricidad. En 1978, los hidrocarburos representaron alrededor del 15% del consumo de derivados del petróleo y gas natural en los demás sectores. ^{87/} Se supondrá que en el año 2010 dicha proporción se reduce al 5% (gracias a una reducción de las pérdidas de gas natural). Por este concepto, el consumo del subsector petróleo alcanzará a 1 200 ktpe.

El subsector carbón utiliza básicamente electricidad y carbón (3 y 2.5% del carbón consumido en los demás sectores, respectivamente). ^{88/} Para este escenario se conserva el mismo porcentaje, que alcanza entonces respectivamente a 45 y 38 ktpe.

El subsector gas y coke emplea hidrocarburos, carbón y electricidad. Los hidrocarburos se calculan como el 24% del consumo de gas corriente, gas de altos hornos y coke en los demás sectores (estimado a su vez como el 50% del consumo de carbón y derivados). El consumo de carbón se determina como el 16% y la electricidad como el 3.5% del consumo de gas y coke en los demás sectores (estimado en la misma forma). Los valores alcanzan a 358, 240 y 52 ktpe, respectivamente.

El subsector generación eléctrica consume sólo electricidad (consumos propios y pérdidas por distribución),

la que se estima en un 10% de la generación neta, ya que los combustibles están incorporados a la electricidad de origen térmico de cada uno de los demás sectores. La electricidad consumida por este subsector se supone de origen hidráulico, ya que la termoelectricidad es sólo un 12% del total. 89/

Por razones de consistencia con la forma en que se ha valorado la hidroelectricidad en el consumo de energía primaria (a través de un coeficiente técnico de sustitución), se hace necesario incluir en el sector energía las pérdidas del equivalente térmico de la hidroelectricidad. Estas pérdidas son obviamente ficticias, como ya se indicó en el segundo capítulo al comparar Suecia (cuya generación eléctrica es predominantemente hidráulica) con otros países de generación mayoritariamente térmica. Las pérdidas ficticias se han estimado en 5 882 ktpe (esto equivale a adoptar un rendimiento medio en la generación termoeléctrica de 38%, o sea, un coeficiente de sustitución de 2 280 kcal/kWh).

El subsector leña y residuos vegetales se ha omitido, por cuanto se supone incluido en el sector industrial.

b) Escenarios alternativos

Como se dijo al iniciar el capítulo, una vez configurado el escenario de referencia, se examinarán esquemas de abastecimiento energético para dos escenarios alternativos. El escenario ya examinado tiene estrecha vinculación con el actual estilo de desarrollo. Los escenarios alternativos, en cambio, se plantean introduciendo variantes en dicho estilo, que corresponde a pautas del mundo industrializado occidental que han ido adoptando, en mayor o menor grado, los países en desarrollo.

Un primer escenario alternativo, aquí denominado A, se formulará sobre la base de modificaciones que, no obstante alterar en forma poco significativa el estilo de desarrollo vigente, pueden conducir a un esquema de suministro de energía diferente, ya sea en valores absolutos o bien en su estructura (contribución porcentual de las distintas fuentes) al modelo de abastecimiento del escenario de referencia.

El segundo escenario alternativo, aquí denominado B, tendrá un carácter más radical, considerando la posibilidad de modificaciones importantes en los principales procesos que caracterizan a la sociedad urbano-industrial.

i) Escenario alternativo A

a. Transporte

En este escenario se propone, básicamente respecto del escenario de referencia, una menor utilización del automóvil privado (mayor cantidad de viajes en medios de transporte público masivo -como trenes y buses- para el movimiento de pasajeros) y un mayor empleo del

ferrocarril y la vía marítima para el transporte de carga (en desmedro del transporte en camiones).

En el escenario de referencia (sector transporte) se había estimado al año 2010 una utilización del automóvil para viajes urbanos ascendente a un 54%. Se propone en este escenario alterar este resultado tendencial, fijando dicho valor en 30%, sin modificar necesariamente la tasa de motorización, puesto que la población seguirá procurando contar con automóviles (en esta proposición, quedan reservados para aquellos fines en que no sean sustituibles por medios de transporte masivo). Con la misma metodología adoptada en el escenario de referencia, el 30% de viajes urbanos en automóvil representará 3 470 ktpc (principalmente gasolina).

La información existente respecto de los consumos específicos de energía en transporte está expresada en gramos de petróleo equivalente por pasajero y por kilómetro o en gramos de petróleo equivalente por tonelada y por kilómetro para los distintos medios. Para el automóvil, por ejemplo, dicho consumo específico es del orden de 50 gramos de petróleo equivalente por pasajero y por kilómetro. Si bien los rendimientos medios (kilómetro por litro de gasolina) varían entre los diferentes tipos (6, 10 y 15 kilómetros por litro para auto norteamericano, europeo y japonés pequeño, respectivamente), las tasas de utilización (personas por automóvil), por el tamaño relativo de los vehículos, son también diferentes (1.0, 1.5 y 2.6 respectivamente). 90/ 91/ 92/

Otros consumos específicos, así como la relación entre consumos específicos se pueden deducir de información contenida en el estudio de Darmstadter, y son las siguientes: auto/bus, 2.94; camión/barcos, 6.95; camión/tren, 4.64; barco/tren, 0.67. 93/ Con esta información, es posible estimar los menores o mayores consumos de energía en los distintos subsectores debidos a desplazamientos de pasajeros y carga mediante medios de transporte distintos a los considerados en el escenario de referencia.

En el cuadro 29 se muestra la situación a que conducen dichas estimaciones con respecto al año 2010.

Las cifras del citado cuadro muestran que se lograría un ahorro neto de energía con respecto al escenario de referencia equivalente a 2 355 ktpc (22.5% del sector transporte y 5.6% del total nacional).

Dicho ahorro se obtendría como consecuencia de: menor uso del automóvil en beneficio de locomoción colectiva; menor uso del camión, en beneficio del ferrocarril; menor uso del camión, en beneficio del barco, y menor uso del tren en beneficio del barco.

Prácticamente la totalidad de ese ahorro corresponde a derivados del petróleo. El único subsector donde el

consumo aumenta significativamente (en valor relativo) es el del transporte ferroviario, cuyo suministro podrá provenir de la electricidad (hidráulica o térmica-carbón).

En resumen, el escenario alternativo A en el sector transporte significa una disminución neta del consumo de energía, una reducción importante del uso de hidrocarburos y un pequeño aumento del consumo eléctrico.

Cuadro 29

CHILE: SITUACION ENERGETICA DEL SECTOR TRANSPORTE
PROYECTADA AL AÑO 2010

	Escenario de referencia		Escenario alternativo A	
	Ktpe	Porcen tajes	Ktpe	Porcen tajes
Transporte terrestre	8 520	81.5	6 083	75.0
Transporte marítimo	1 044	10.0	1 067	13.2
Transporte aéreo	774	7.4	774	9.6
Transporte ferroviario	116	1.1	175	2.2
<u>Total</u>	<u>10 454</u>	<u>100.0</u>	<u>8 099</u>	<u>100.0</u>

Fuente: Para las cifras del escenario de referencia, cuadro 23 del presente estudio. Para los del escenario alternativo A, estimaciones basadas en las hipótesis correspondientes.

b. Sector residencial-comercial

En el escenario de referencia se estimaron los requerimientos de combustibles y electricidad en 7 452 y 1 748 ktpe, respectivamente. El escenario alternativo supone que se logra un ahorro importante en la energía para calefacción (se estima que el consumo en calefacción alcanza al 23% de los combustibles del subsector residencial). ^{94/} Por otra parte, se cree poder disminuir hasta en un 75% las pérdidas de calor en viviendas y edificios mediante mejores aislaciones térmicas. ^{95/}

Aquí se fijará el ahorro en calefacción en 35% (550 ktpe) de los combustibles usados por el subsector residencial para este fin. En cuanto al resto de los usos residenciales de los combustibles, también se espera un ahorro del orden del 18% (947 ktpe), gracias al uso de artefactos más eficientes, a una mayor conciencia energética de los usuarios y a una contribución de la energía solar del orden del 1%.

Respecto de la electricidad, se parte de la hipótesis que sus principales aplicaciones seguirán siendo la iluminación y los electrodomésticos, y que seguirá siendo

despreciable la fracción destinada a calefacción. 96/ espera ahorrar un 50% de la electricidad usada en iluminación del subsector residencial, teniendo presente que el rendimiento lumínico de las lámparas de filamento, todavía ampliamente utilizadas, es de apenas un 5% y el de los tubos fluorescentes es de 22%, 97/ y un 25% de la electricidad empleada por el alumbrado público. Lo anterior representa un ahorro en electricidad de 188 ktp.e. 98/

En cuanto a los electrodomésticos, no se esperan ahorros; aunque aumenten su eficiencia, también aumentará la cantidad de ellos por familia.

En resumen, según el escenario alternativo A la situación sería la siguiente:

Cuadro 30

CHILE, SECTOR RESIDENCIAL-COMERCIAL:
DISTRIBUCION POR SUBSECTORES (2010)

(Escenario alternativo A)

Subsector	Combustibles		Electricidad		Total	
	Ktpe	Porcen tajes	Ktpe	Porcen tajes	Ktpe	Porcen tajes
Residencial	5 387	90.4	812	52.0	6 199	82.5
Comercial	106	1.8	287	18.4	393	5.2
Fiscal y municipal	462	7.8	461	29.6	923	12.3
<u>Total</u>	<u>5 955</u>	<u>100.0</u>	<u>1 560</u>	<u>100.0</u>	<u>7 515</u>	<u>100.0</u>

Fuente: Estimaciones basadas en las hipótesis del presente estudio.

Cuadro 31

CHILE, SECTOR RESIDENCIAL-COMERCIAL:
ESTRUCTURA ENERGETICA (2010)

(Escenario alternativo A)

Energético	Ktpe	Porcentajes
Petróleo diesel y combustible	628	8.4
Kerosene y gas licuado	3 185	42.3
Gas natural y corriente	1 120	14.9
Carbón y derivados	72	1.0
Leña	870	11.6
Electricidad	1 560	20.7
Energía solar	80	1.1
<u>Total</u>	<u>7 515</u>	<u>100.0</u>

Fuente: Estimaciones basadas en las hipótesis del presente estudio.

c. Industria

A pesar de que la industria está pagando por la energía precios no subsidiados, no parece existir un incentivo económico suficiente para que todos los subsectores, y en particular las empresas medianas y pequeñas, se preocupen seriamente de ahorrar energía o sustituir petróleo y derivados por otros combustibles. 99/

En el escenario alternativo se supondrá, en primer lugar, que existirá una política nacional que estimule en mayor grado tales acciones, la que se vería facilitada por el previsible aumento del precio del petróleo respecto de otros combustibles.

En segundo término, se supondrá que se utilizarán en mayor medida la leña y los residuos vegetales, elevando su participación a un porcentaje del 18%.

Es factible pensar que la eficiencia con que la industria use la energía mejorará en un 10% dentro del horizonte de tiempo del estudio. Tal hipótesis lleva el consumo del sector en el año 2010 al valor de 11 290 ktpe, que se distribuiría por fuentes como sigue:

Guadro 32

CHILE: SITUACION ENERGETICA DEL
SECTOR INDUSTRIAL (2010)

(Escenario alternativo A)

Energético	Ktpe	Porcentajes
Derivados del petróleo y gas natural	4 177	37
Carbón	1 694	15
Leña y residuos vegetales	2 032	18
Coke, gas de altos hornos, etc.	903	8
Electricidad	2 484	22
<u>Total</u>	<u>11 290</u>	<u>100</u>

Fuente: Estimaciones basadas en las hipótesis del presente estudio.

Esta distribución del consumo de energía representa un ahorro, con respecto al escenario de referencia, de un 10% (1 255 ktpe). Este ahorro se logra principalmente por la sustitución de hidrocarburos, ya que en este escenario su consumo disminuye en 1 468 ktpe (provocando un incremento en el uso de otros combustibles que tienen distinta eficiencia).

d. Agricultura

Tomando como premisa la necesidad de aumentar la producción nacional de alimentos, se supondrá un mayor suministro de insumos energéticos a la agricultura; se estima que, en general, el incremento de la producción agrícola proviene en dos terceras partes de la intensificación de los cultivos, y sólo en un tercio de la ocupación de nuevos suelos. 100/

La tendencia histórica muestra que Chile, al igual que otros países en desarrollo, debe importar cantidades crecientes de alimentos esenciales; pero esta situación podría corregirse sin que existan para ello obstáculos técnicos ni económicos. Se ha comprobado empíricamente que a mayores insumos energéticos, mayores rendimientos. 101/ La función de proporcionalidad no es lineal (rendimientos decrecientes) y admite un máximo; es decir, más allá de una determinada cantidad de fertilizantes, por ejemplo, el rendimiento baja. Ese límite, sin embargo, está todavía lejos de alcanzarse. En Estados Unidos (1972) los insumos energéticos agrícolas equivalen a 0.139 tpe por habitante y por año. 102/ Puede estimarse que en Chile dicho indicador alcanzaba, en el mismo año, a 0.030.

Para construir este escenario, la hipótesis será que en 2010 se alcanzará la cifra de 0.100 tpe por habitante y por año. Como la población proyectada para ese año es de $15,04 \cdot 10^6$ habitantes, se tendría un consumo de energía en la agricultura equivalente a $1\ 504$ ktpe (4.2% del consumo total).

Los insumos energéticos de la agricultura moderna son básicamente el petróleo y sus derivados y la electricidad. En este escenario interesa modificar dicha base energética, utilizando en mejor forma la oferta ambiental. Commoner, citando a D.M. Woodruff, profesor de Agronomía en la Universidad de Missouri, señala que el propósito de la agricultura es "capturar la energía solar". En cambio, la agricultura moderna típica, como la que se practica en el "Corn Belt" de los Estados Unidos, ha privado a los ciclos del suelo de buena parte de la energía solar. 103/ Como resultado, la nutrición de los cultivos ya no es proporcionada por el ciclo biológico, sino por fertilizantes inorgánicos, cuya producción depende decisivamente de los combustibles fósiles.

Este escenario alternativo propondría como hipótesis para la agricultura una mayor utilización de las fuentes no tradicionales de energía (si bien algo se utilizan, por ejemplo en el secado natural de productos mediante energía solar, su contribución es por ahora despreciable. 104/

Para cuantificar la futura contribución de las fuentes no tradicionales de energía se emplearán las proyecciones del estudio de la Fundación Bariloche, según el cual, hacia 1995, dichas fuentes podrán aportar el 20%

(4 429 ktpe) de las necesidades energéticas del sector productivo rural del conjunto de países de América Latina. 105/ Considerando, sin embargo, que dicho estudio supone una gran proporción de utilización de las fuentes no tradicionales, aquí se adoptará la cifra del 20% para el año 2010 (para dicho año, la Fundación Bariloche estima que la contribución media de estas fuentes al abastecimiento energético de América Latina, incluidos todos los sectores, sería del 30%).

En consecuencia, la estructura energética de la agricultura de producción sería la siguiente:

Cuadro 33

CHILE: INSUMOS ENERGETICOS DEL SECTOR
PRODUCTIVO AGRICOLA (2010)
(Escenario alternativo A)

Energético	Ktpe	Porcentajes
Hidrocarburos	1 086	72.2
Combustible vegetal	9	0.6
Electricidad	108	7.2
Fuentes no tradicionales	307	20.0
<u>Total</u>	<u>1 504</u>	<u>100.0</u>

Fuente: Porcentajes basados en estimaciones de la Fundación Bariloche para 1995, y en las hipótesis del presente estudio. En cuanto a la electricidad, Pimentel y Terhune ("Energy and Food", Annual Review of Energy, vol. 2, 1977), quienes estiman la electricidad en 10% para los Estados Unidos.

e. Sector energía

Los consumos propios y las pérdidas de los diferentes subsectores que componen este sector se han calculado con la misma metodología y porcentajes estimados en el escenario de referencia (véase el apartado a) ii)e. del presente capítulo).

De este modo se obtienen los siguientes valores:

Subsector petróleo	909 ktpe (básicamente hidrocarburos)
Subsector carbón	74 ktpe (electricidad y carbón)
Subsector gas y coke	585 ktpe (hidrocarburos, carbón y electricidad)
Subsector generación eléctrica	347 ktpe (electricidad)
Subsector generación hidroeléctrica	5 187 ktpe (pérdidas ficticias)

ii) Escenario alternativo B

Como se explicó al principio del capítulo, este escenario supone modificaciones más sustanciales en el estilo de desarrollo, las que tendrían por objeto alterar significativamente el perfil de energía del escenario de referencia. Se trata, por tanto, de un escenario más improbable y altamente especulativo, cuyas condicionantes básicas sólo podrían provenir de decisiones políticas que impliquen la adopción de una estrategia de desarrollo posiblemente diferente a la que hoy día prevalece en la mayoría de los países de América Latina.

Para construir este escenario se centrará la atención, por el lado de la demanda, en sectores y subsectores que según se pudo apreciar en la descripción de los escenarios anteriores, presentan como características las de utilizar una fracción importante de la energía consumida por el país, mostrar una fuerte dependencia respecto de los hidrocarburos, vincularse estrechamente al estilo de desarrollo y ser susceptibles de sufrir cambios estructurales importantes. Por el lado de la oferta, se pondrán de relieve fuentes tradicionales que han ido siendo desplazadas por los hidrocarburos (carbón, leña y otros combustibles vegetales) y las fuentes no tradicionales (energía solar y biomasa no tradicional).

A continuación se procede al análisis sectorial.

a. Transporte

El consumo de energía del transporte intraurbano, principalmente de pasajeros, es una fracción elevada del consumo total del sector, tanto mayor cuanto más extensas son las aglomeraciones urbanas. 106/

Dado que la metropolización es uno de los fenómenos característicos del estilo de desarrollo vigente, el escenario B propone como alternativa una distribución espacial de la población diferente a la actual y a la que indica la tendencia histórica con mayor descentralización y menor concentración; junto con ello, propone una planificación urbana de las ciudades de gran tamaño, con el fin de evitar el distanciamiento entre el lugar de residencia y el lugar de trabajo. Se estima que estas propuestas reducirían en un 20% el consumo de autos y buses urbanos, en relación al escenario de referencia, aunque, debido a la descentralización de la población, se provocaría un aumento del 5% en el transporte de carga. 107/

Puesto que el consumo específico de energía (kgpe por tonelada y por kilómetro y kgpe por pasajero y por kilómetro) de los diferentes medios de transporte debe ser también una consideración importante, se incluirá en este escenario una redistribución de viajes y carga de acuerdo a las relaciones entre consumos específicos, tal como se procedió en el escenario A. Esta utilización

más eficiente de los medios de transporte permite un ahorro de 21.5% respecto del escenario de referencia.

Finalmente, cabe tener presente que el avance de las telecomunicaciones puede ser decisivo para la reducción de la demanda de servicios de transporte. Se ha estimado que el uso masivo de las técnicas modernas de telecomunicación puede ahorrar un 20% de la energía del transporte terrestre y un 15% de la del transporte aéreo de pasajeros. 108/

El conjunto de proposiciones correspondientes a este escenario alternativo se traduce en términos numéricos en el cuadro 34.

Cuadro 34

CHILE: DISTRIBUCION DEL CONSUMO DE ENERGIA POR
SUBSECTORES, EN EL SECTOR TRANSPORTE

(Escenario alternativo B)

Tipo de transporte	Consumo de energía	
	Ktpe	Porcentajes
Marítimo	1 145	17.9
Ferrovionario	443	7.0
Terrestre	4 108	64.7
Aéreo	658	10.4
<u>Total</u>	<u>6 354</u>	<u>100.0</u>

Fuente: Estimaciones basadas en los supuestos del presente estudio.

En cuanto a la distribución por fuentes, se considera básicamente la sustitución de derivados del petróleo por alcohol (automóviles) y por electricidad (ferrocarril y transporte colectivo urbano). Dicha sustitución daría como resultado las cifras que figuran en el cuadro 35.

Esta situación representa una disminución del 39.2% en la demanda de energía con respecto al escenario de referencia (21.5% debido a mejor utilización del transporte y 17.7% por efectos de la planificación urbana y de avances en las telecomunicaciones).

b. Sector residencial-comercial

En primer término, al total de habitantes proyectado para el año 2010 se le asigna una distribución del 85% para población urbana y del 15% para población rural. 109/

En cuanto a la dotación media de combustibles por habitante para usos domésticos, esta se estima en 300 y

280 kgpe por habitante para viviendas rurales y urbanas, respectivamente. 110/ En el subsector residencial los requerimientos porcentuales de combustibles y electricidad se estiman respectivamente en 83 y 17%. 111/

Cuadro 35

CHILE: FUENTES DE ABASTECIMIENTO
DEL SECTOR TRANSPORTE

(Escenario alternativo B)

	Ktpe	Porcentajes
Hidrocarburos	5 790	91.1
Carbón y derivados	-	-
Leña y residuos vegetales	-	-
FNC	376	5.9
Electricidad	188	3.0
<u>Total</u>	<u>6 354</u>	<u>100.0</u>

Fuente: Estimaciones basadas en los supuestos del presente estudio.

Se otorga al subsector comercial y otros, dentro del sector residencial-comercial, aproximadamente la misma incidencia porcentual que la determinada para el escenario A (17.5%). Por otra parte, se estima que en los subsectores comercial, fiscal y municipal agregados, los combustibles y la electricidad contribuyen de manera similar a los requerimientos de energía. 112/

En cuanto a la relación combustibles/electricidad en el sector, se mantendrá la utilizada en el escenario A.

En el análisis del sector transporte para este escenario alternativo se planteó la descentralización de la población, lo que implica una tipología de vivienda diferente a la del escenario de referencia: probablemente habrá mayor proporción de viviendas unifamiliares y de edificios residenciales de altura media, en oposición al predominio de conjuntos multifamiliares (departamentos) en edificación de altura, que caracteriza a la metropolización. Desde el punto de vista energético, las viviendas unifamiliares requieren más energía (se estima un 20-50%) que las de los edificios de departamentos, por tener obviamente mayores pérdidas (y ganancias) térmicas. 113/

A partir de las cifras del escenario de referencia y, teniendo presentes las consideraciones precedentes, se ha elaborado el cuadro 36.

Cuadro 36

CHILE: DISTRIBUCION POR SUBSECTORES EN EL
SECTOR RESIDENCIAL-COMERCIAL (2010)

(Escenario alternativo B)

Subsector	Combustibles		Electricidad		Total	
	Ktpe	Porcen tajes	Ktpe	Porcen tajes	Ktpe	Porcen tajes
Residencial	5 599	83	1 147	17	6 746	100
Comercial y otros	740	52	684	48	1 424	100
<u>Total</u>	<u>6 339</u>		<u>1 831</u>		<u>8 170</u>	

Fuente: Estimaciones basadas en los supuestos del presente estudio.

Se aprecia, en el total, una leve disminución respecto del escenario de referencia (11%) y un aumento en relación al escenario A (9%).

Para obtener la distribución por fuentes de abastecimientos, se han utilizado los siguientes criterios generales:

a) una fuerte penetración de las fuentes no tradicionales 114/ (energía solar y biomasa quemada, con alta eficiencia en relación a la actual);

b) una mayor cobertura territorial de la electrificación rural y por lo tanto un mayor consumo de electricidad;

c) un uso más intenso del carbón, especialmente en zonas rurales.

Cuadro 37

CHILE: FUENTES DE ABASTECIMIENTO DEL SECTOR
RESIDENCIAL-COMERCIAL (2010)

(Escenario alternativo B)

	Ktpe	Porcentajes
Hidrocarburos	2 629	32.2
Carbón y derivados	120	1.5
Leña y residuos vegetales	1 680	20.6
Fuentes no tradicionales	1 910	23.4
Electricidad	1 831	22.3
<u>Total</u>	<u>8 170</u>	<u>100.0</u>

Fuente: Estimaciones basadas en los supuestos del presente estudio.

c. Industria

El contenido o intensidad energética (kilogramos de petróleo equivalente por unidad monetaria de valor agregado) de los bienes que entrega la industria varía fuertemente de un producto a otro. 115/ Las industrias extractivas (minería) y de transformación de materiales, como se sabe, hacen uso muy intensivo de la energía, en comparación con industrias de bienes de consumo (alimentos, textiles, etc.). La etapa de industrialización en que se encuentra Chile, al igual que muchos países de América Latina, se caracteriza por la existencia de industrias que hacen uso muy intensivo de la energía (minería, siderurgia, cemento, plásticos, etc.); en cambio, los países industrializados presentan una estructura en la cual una fracción importante del producto industrial es aportada por industrias de alta tecnología y de uso relativamente poco intensivo de la energía (electrónica, comunicaciones, óptica, aeronáutica, etc.) 116/

En el escenario alternativo B se postula que la industrialización del país avanzará de modo que, en el horizonte de tiempo establecido, las industrias de alta tecnología, que no demandan gran cantidad de energía por unidad de valor agregado, alcancen importante participación. Este postulado no implica ciertamente que se abandone el desarrollo y expansión de industrias extractivas (como el cobre) o de transformación de materiales (celulosa y papel, por ejemplo) en que el país presenta ventajas comparativas.

Las anteriores consideraciones permiten suponer que el sector industrial consumirá una menor cantidad de energía que en el escenario A; el ahorro correspondiente se ha estimado en un 5%. Además, en este escenario B se supondrá un mayor esfuerzo en materia de ahorro de energía, lo que se estima se traducirá en una reducción adicional del 5% en el consumo de energía. En otras palabras, el consumo global del sector sería inferior en un 20% al del escenario de referencia, e igual a 10 036 ktpc.

Puesto que no se cuenta con antecedentes suficientes para la desagregación subsectorial, solamente se examina la distribución por fuentes de abastecimiento.

En este sentido, por la mayor importancia que tendrán respecto del escenario de referencia las industrias de alta tecnología, se otorgará una contribución también mayor a la electricidad, tanto en valor absoluto como relativo (este último del orden del 30%, contra el 22% del escenario de referencia).

Por otra parte, se dará una participación del 5% a las fuentes no tradicionales (básicamente energía solar) de acuerdo con el criterio ya adoptado en este escenario para los dos sectores anteriores (transporte y residencial-comercial).

De este modo se tendría la siguiente situación:

Cuadro 38

CHILE: DISTRIBUCION POR FUENTES DE ENERGIA
EN EL SECTOR INDUSTRIAL (2010)

(Escenario alternativo B)

	Ktpe	Porcentajes
Derivados del petróleo y gas natural	2 506	25.0
Carbón y derivados	2 500	25.0
Leña y residuos vegetales	1 500	15.0
Fuentes no tradicionales (energía solar)	500	5.0
Electricidad	3 030	30.0
<u>Total</u>	<u>10 036</u>	<u>100.0</u>

Fuente: Estimaciones basadas en los supuestos del presente estudio.

d. Agricultura

En este escenario se adoptan los mismos valores absolutos utilizados en el escenario A.

e. Sector energía

Se procede con la misma metodología indicada en el escenario de referencia.

c) Resultados y conclusiones

Los resultados cuantitativos acerca de la demanda de energía hacia el año 2010, en cada uno de los tres escenarios configurados en el presente estudio, se encuentran en los cuadros 23 al 38, que corresponden a los consumos por sectores de uso (subsectores en algunos casos) y por fuentes de energía (primaria o secundaria, según corresponda).

Para facilitar la inspección de estos resultados se han elaborado además, a partir de los cuadros indicados, los cuadros 39, 40 y 41 que resumen el contenido de los anteriores.

Las conclusiones que se desprenden de estas cifras se han analizado en el capítulo I, en la parte relativa a los resultados del estudio, donde han sido puestas en relación con la sustentabilidad del esquema de abastecimiento (recursos naturales disponibles) y los posibles efectos sobre el medio ambiente.

Cuadro 39

CHILE: DEMANDA DE ENERGIA POR SECTORES

(Ktpe)

Sector	Situación actual 1978	Escenarios (2010)		
		Referencia	Alternativa A	Alternativa B
Industria	2 848	12 545	11 290	10 036
- Hidrocarburos	1 370	5 645	4 177	2 506
- Carbón y derivados	527	2 886	2 597	2 500
- Leña y residuos vegetales	450	1 254	2 032	1 500
- Fuentes no tradicionales	-	-	-	500
- Electricidad	501	2 760	2 484	3 030
Transporte	2 316	10 454	8 099	6 354
- Hidrocarburos	2 226	10 385	7 979	5 790
- Carbón y derivados	70	6	20	-
- Leña y residuos vegetales	-	-	-	-
- Fuentes no tradicionales	-	-	-	-
(alcohol)	-	-	-	376
- Electricidad	20	63	100	188
Residencial-comercial	2 193	9 200	7 515	8 170
- Hidrocarburos	956	6 440	4 933	2 629
- Carbón y derivados	105	92	72	120
- Leña y residuos vegetales (tradicionales)	915	920	870	1 680
- Fuentes no tradicionales (energía solar y biomasa)	-	-	80	1 910
- Electricidad	217	1 748	1 560	1 831
Agricultura	237	1 422	1 504	1 504
- Hidrocarburos	200	1 337	1 086	1 086
- Carbón y derivados	-	-	-	-
- Leña y residuos vegetales	23	14	9	9
- Fuentes no tradicionales	-	-	301	301
- Electricidad	12	71	108	108
Energía	1 899	8 194	7 102	7 865
- Hidrocarburos	797	1 558	1 232	914
- Carbón y derivado	65	278	249	243
- Leña y residuos vegetales	-	-	-	-
- Fuentes no tradicionales a/	-	-	-	-
- Electricidad	96	476	434	473
- Pérdidas ficticias (hidroelectricidad)	941	5 882b/	5 187c/	6 235b/
Totales	9 493	41 815	35 510	33 929

Fuente: Estimaciones basadas en las hipótesis del presente estudio.

a/ No se consideran consumos energéticos tradicionales (despreciables) en la obtención de energía no tradicional. Los consumos de fuentes no tradicionales en la obtención de energía de dichas fuentes se incluyen en los sectores.

b/ Equivalen a un coeficiente de sustitución de 2 280 kcal/kWh ($\mu = 38\%$).

c/ Equivalen a un coeficiente de sustitución de 2 317 kcal/kWh ($\mu = 37\%$).

Cuadro 40

CHILE: DISTRIBUCION POR FUENTES DE ENERGIA

Fuentes de energía	Situación actual 1978 ktpe	Porcentajes	Referencia ktpe a/	Escenarios (2010)				
				Porcentajes	Alter-nativa A ktpe a/	Porcentajes	Alter-nativa B ktpe a/	Porcentajes
Hidrocarburos	5 544	58.4	25 521	61.0	19 550	55.1	13 061	38.4
Carbón y derivados	902	9.5	4 276	10.2	3 867	10.9	3 750	11.1
Leña y residuos vegetales	1 272	13.4	2 318	5.6	3 030	8.5	3 502	10.3
Fuentes no tradicionales b/	-	-	-	-	381	1.1	3 114	9.2
Hidroelectricidad c/	1 775	18.7	9 700	23.2	8 682	24.4	10 502	31.0
<u>Total</u>	<u>9 492</u>	<u>100.0</u>	<u>41 815</u>	<u>100.0</u>	<u>35 510</u>	<u>100.0</u>	<u>33 929</u>	<u>100.0</u>

Fuente: Estimaciones basadas en los supuestos del presente estudio.

a/ Las cifras correspondientes a los combustibles incluyen la parte destinada a generación termoeléctrica, en la siguiente forma:

Combustible	ktpe		
	Ref.	A	B
Hidrocarburos	156	143	136
Carbón	1 014	929	887
Leña	130	119	313
Fuentes no tradicionales	-	-	27
<u>Total</u>	<u>1 300</u>	<u>1 191</u>	<u>1 363</u>

b/ Incluye energía solar (sector doméstico urbano principalmente), leña usada eficientemente (sector doméstico rural) y alcohol (mezcla con gasolina) y biogás.

c/ Se han convertido los kWh(e) en ktpe mediante coeficientes técnicos (en torno a los 2 300 kcal/kWh). Se han cargado las pérdidas de transmisión y distribución y los consumos propios de electricidad de todas las centrales eléctricas a la hidroelectricidad, aproximación aceptable ya que al año 2010 cerca del 90% de la electricidad sería de origen hidráulico.

Cuadro 41

CHILE: DEMANDA DE ENERGIA POR SECTORES

(Porcentajes)

Sector	Situación actual 1978	Escenarios (2010)		
		Referencia	Alternativa A	Alternativa B
Residencial-comercial	23.1	22.0	21.2	24.1
Industrial	30.0	30.0	31.8	29.6
Transporte	24.4	25.0	22.8	18.7
Agricultura	2.5	3.4	4.2	4.5
Centro de trans- formación	20.0	19.6	20.0	23.1
<u>Total</u>	<u>100.0</u>	<u>100.0</u>	<u>100.0</u>	<u>100.0</u>

Fuente: Estimaciones basadas en los supuestos del presente estudio.

IV. EFECTOS AMBIENTALES DE LAS ALTERNATIVAS ENERGETICAS

1. Introducción

Puesto que el presente estudio examina las relaciones entre energía, estilos de desarrollo y medio ambiente, es preciso abordar también el tema de los efectos que tienen las diferentes tecnologías energéticas sobre el medio ambiente.

Por otra parte, y puesto que se intenta comparar modelos energéticos asociados a distintos estilos de desarrollo, para hacer un examen completo habría que disponer de una cuantificación de los impactos ambientales. Para el análisis de las repercusiones de los contaminantes emitidos al extraer, convertir y aprovechar diferentes recursos energéticos, se hace necesario conocer la cantidad y el tipo de contaminantes liberados, la dispersión de estos contaminantes en el medio ambiente, los caminos ecológicos seguidos por los contaminantes, las relaciones entre los contaminantes y el daño al hombre y a su medio y, finalmente, la extensión del daño, incluyendo su costo. 117/

A fin de evitar dificultades posiblemente insuperables en el actual estado de los conocimientos, se ha optado aquí, de preferencia, por recoger y elaborar información relativa a la cantidad de contaminantes emitidos, sin entrar a analizar la interacción entre tales contaminantes y los ecosistemas, y sin considerar tampoco la forma en que ellos pueden dañar la calidad de vida del ser humano; sólo en algunos casos se ha podido contar con información relativa a efectos sobre el medio ambiente y sobre la salud de los trabajadores y de la población general.

A pesar de lo limitado de este análisis, es posible llegar a conclusiones comparativas, ya que a mayor emisión de contaminantes, mayores serán potencialmente, los efectos sobre el ambiente.

Se acostumbra clasificar los efectos ambientales de las alternativas energéticas en tres grupos: los que afectan a la tierra, a la atmósfera y al agua.

Los efectos sobre la tierra son de muy variada índole: ocupación de espacio, deforestación, movimientos sísmicos, contaminación radioactiva, destrucción del paisaje, etc. 118/ De ellos, los más significativos -así como los que registran mayor información- son los dos primeros.

Los impactos sobre la atmósfera son también de distinto tipo, pero en último término su causa está en la emisión de contaminantes tales como óxidos de azufre, óxidos de nitrógeno, dióxido de carbono, partículas, sustancias radioactivas, etc. En el Anexo 4 se indican los valores numéricos de tales emisiones.

Los efectos potenciales sobre el agua son muy diversos, pero básicamente se podrían reunir en dos grupos: aquellos que afectan la calidad y los que dicen relación con el consumo de agua.

Además de los ya señalados podrían señalarse otros impactos potenciales: ruido, radio/interferencias, accidentes industriales, explosiones, proliferación nuclear, etc.

2. Cuantificación de algunos impactos ambientales

La cuantificación se presenta en lo posible normalizada, por razones de consistencia con el resto del informe, refiriéndola a 1 kilotonelada de petróleo equivalente (ktpe).

a) Uso del espacio

Un estudio de "Resources for the Future" 119/ proporciona gran parte de la información sobre uso de espacio para la producción de una cantidad de energía equivalente a la generación anual de una planta eléctrica de 1 000 MW de potencia y factor de carga 75% (6.57×10^9 kWh). (Véase el cuadro 42).

Considerando, por una parte, las cifras del cuadro 40 y, por otra, las cifras del cuadro 42, se concluye que los recursos energéticos significativos desde el punto de vista de la ocupación de tierra son la biomasa y la hidroelectricidad. El escenario A significa una ocupación similar a la del escenario de referencia, en tanto que el escenario B requiere un 34% más de superficie. Para la producción de biomasa, como se indicó anteriormente, debería disponerse de 1.5 millones de hectáreas de bosques destinados a fines energéticos. De acuerdo a cifras publicadas por la Comisión Nacional de Energía 120/ la superficie de las áreas potenciales (clase de uso VI y VII) alcanza a 4.5 millones de hectáreas entre la V y X región. Aparentemente, existirían suelos de aptitud forestal suficiente como para cubrir las necesidades de biomasa energética. Sin embargo, debe considerarse la posibilidad de usos competitivos con la industria forestal no energética y con la ganadería.

USO DE ESPACIO POR DISTINTAS FUENTES PRIMARIAS
DE ENERGIA EMPLEADAS EN GENERACION ELECTRICIA

	Acres a/	m ² /ktpe b/
Hidroelectricidad c/		30 000d/
Carbón		
Minas	300-600	800-1 600
Planta generadora c/		
Sitio	3	8
Laguna de refrigeración d/	40	105
Desechos	20-30	50-80
Nuclear		
Minas	60	160
Planta generadora c/		
Sitio e/	7-70	18-180
Laguna de refrigeración c/	70	180
Relaves	8	21
Geotermia c/		450-900
Energía solar c/	70-300	180-800
Biomasa c/	10 000	26 400

Fuente: Sam H. Schurr et al, Energy in America's Future, Resources for the Future, Johns Hopkins University Press, 1979; cálculos del presente estudio, y, en el caso de la hidroelectricidad y la geotermia, calculos basados en la información contenida en UNEP: The Environmental Impacts of Production and Use of Energy. Part III. Renewable Sources of Energy, Nairobi, 1980. (Un grupo de 10 grandes centrales de embalse ubicadas en 6 países, cuyas potencias son superiores a 1 000 MW, ocupan 38 645 km².)

a/ Acres por planta equivalente.

b/ Metros cuadrados por kilotonelada de petróleo equivalente, utilizando el equivalente calórico de la electricidad generada por combustibles y energía solar (2 500 kcal/kWh); 1 000 MW (e) tienen así un equivalente de 1 535 ktpe/año. (Cálculos efectuados por los autores.)

c/ Las cifras resultan de prorratear la superficie requerida por el período de vida útil de la instalación.

d/ Optativo.

e/ Incluye áreas de exclusión.

b) Emisiones

Se han estimado las emisiones producidas por la refinación y combustión de hidrocarburos y por la combustión de carbón y biomasa, actividades que en los tres escenarios aparecen como las principales fuentes de contaminación.

Como podía esperarse, el escenario de referencia tendría la mayor repercusión potencial desde el punto de vista de las emisiones de gases y líquidos (64 y 22% más que los escenarios B y A, respectivamente). Cabe hacer notar que en todos los casos es el transporte el principal causante de emisiones gaseosas y líquidas, correspondiendo a alrededor del 40% del total.

En cuanto a las emisiones sólidas, los tres escenarios muestran cantidades similares, aunque el escenario B produciría un 10% menos que el escenario de referencia. Esto se explica porque en todos los casos la contribución del carbón resulta muy significativa.

En los siguientes cuadros se presentan las emisiones, expresadas en toneladas por kilotonelada de petróleo equivalente, correspondientes a: refinación de petróleo, combustión de carbón, combustión de petróleo y derivados en la generación termoeléctrica y usos industriales, combustión de petróleo y derivados en el transporte y usos residenciales, combustión de gas natural, generación nuclear y geotérmica. (Véanse los cuadros 43, 44, 45, 46, 47 y 48.) Las cifras que aparecen en dichos cuadros han sido calculadas por los autores sobre la base de la información contenida en el anexo 4. Evidentemente, tales cifras pueden variar en función de las características físico-químicas de los combustibles y de la tecnología de la combustión, pero se estiman suficientemente representativas para los fines perseguidos.

En las faenas de transporte marítimo de petróleo y derivados puede estimarse, sobre la base de la experiencia histórica, que por cada ktpé transportado se derraman 5.9 kg.

Estimadas las emisiones producidas por la refinación y combustión de hidrocarburos y por la combustión de carbón y biomasa, actividades que en los tres escenarios aparecen como las principales fuentes de contaminación, se ha comprobado, como podía esperarse, que el escenario de referencia tendría el mayor impacto potencial desde el punto de vista de las emisiones de gases y líquidos superiores en un 64 y en un 22% a las de los escenarios B y A, respectivamente). Cabe hacer notar que en todos los casos es el transporte el principal causante de emisiones gaseosas y líquidas: corresponde a alrededor del 40% del total.

En cuanto a las emisiones sólidas, los tres escenarios muestran cantidades similares: el escenario B un 10% menos que el escenario de referencia. Ello se explica porque en todos los casos la contribución del carbón, pesa muy significativamente.

Cuadro 43

REFINACION DE PETROLEO
(Emisiones en ton/ktpe)

<u>Emisiones gaseosas</u>	
SO _x	0.778
NO _x	0.667
CO	0.159
Compuestos orgánicos	0.852
Amoníaco	0.083
<u>Subtotal</u>	<u>2.539</u>
<u>Emisiones líquidas</u>	
Cloruros	0.889
Grasas	0.022
Amoníaco nitrogenado	0.022
Fosfatos	0.0001
Sólidos suspendidos	0.074
Sólidos disueltos	3.704
Metales	0.0008
<u>Subtotal</u>	<u>4.7119</u>
<u>Total</u>	<u>7.2509</u>

Fuente: UNEP, The Environmental Impacts of Production and Use of Energy, Nairobi, 1979.

c) Consumo de agua

El proceso que más contribuye al consumo de agua es el relativo a la refrigeración de los sistemas de potencia. 121/ Las publicaciones técnicas sobre impactos ambientales señalan también cifras sobre consumo en la minería y procesamiento (carbón y uranio); sin embargo, son valores que alcanzan, a lo sumo, un 15% de los correspondientes a refrigeración.

Estos últimos son del orden de 20 a 30 pies cúbicos por segundo por planta equivalente 122/ para carbón y energía nuclear, respectivamente, lo cual representa 1.1 a $1.7 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{ktpe}$.

El consumo más importante, el de la generación termoeléctrica (refrigeración), es muy similar en valores para los tres escenarios (del orden de los 20 millones

Cuadro 44

EMISIONES POR COMBUSTION DE CARBON
(Emisiones en ton/ktpe)

<u>Emisiones gaseosas</u>	
Partículas	1.633
SO _x	59.880
NO _x	14.698
CO	1.089
Hidrocarburos	0.218
<u>Subtotal</u>	<u>77.518</u>
<u>Emisiones líquidas</u>	
Materia orgánica	0.036
H ₂ SO ₄	0.045
Cloro	0.014
Fosfatos	0.023
Boro	0.180
Sólidos en suspensión	0.270
<u>Subtotal</u>	<u>0.568</u>
<u>Emisiones sólidas</u>	
Genizas	195.971
<u>Total</u>	<u>274.057</u>

Fuente: UNEP, The Environmental Impacts of Production and Use of Energy, Nairobi, 1979.

de metros cúbicos por año). Sin embargo, esta cifra no tiene la importancia que aparenta, pues las plantas termoeléctricas pueden, en muchos casos, instalarse en la costa, y utilizar agua de mar para la refrigeración.

Cuadro 45

COMBUSTION DE PETROLEO Y DERIVADOS
EN GENERACION TERMOELECTRICA
Y USOS INDUSTRIALES

(Emisiones en ton/ktpe)

<u>Emisiones gaseosas</u>	
SO _x	18.500
NO _x	12.400
CO	0.355
Hidrocarburos	0.235
Aldehídos	0.120
Partículas	0.600
<u>Subtotal</u>	<u>32.210</u>
<u>Emisiones líquidas</u>	
Sólidos en suspensión	0.249
H ₂ SO ₄	0.042
Cloratos	0.013
Fosfatos	0.021
Boro	0.166
Cromatos	0.001
Compuestos orgánicos	0.033
<u>Subtotal</u>	<u>0.525</u>
<u>Sólidos de desecho</u>	<u>4.595</u>
<u>Total</u>	<u>37.330</u>

Fuente: UNEP, The Environmental Impacts of Production and Use of Energy, Nairobi, 1979.

Cuadro 46

COMBUSTION DE PETROLEO Y DERIVADOS EN TRANSPORTE
Y USOS RESIDENCIALES

(Emisiones en ton/ktpe)

<u>Emisiones gaseosas</u>	
Monóxido de carbono	163.2
Oxidos de nitrógeno	19.9
Hidrocarburos	23.5
<u>Fuente: UNEP, The Environmental Impacts of Production and Use of Energy, Nairobi, 1979.</u>	

Cuadro 47

COMBUSTION DE GAS NATURAL

(Emisiones en ton/ktpe)

<u>Emisiones gaseosas</u>	
SO _x	0.011
NO _x	11.007
Hidrocarburos	0.019
Compuestos orgánicos	0.131
Partículas	0.281
<u>Subtotal</u>	<u>11.449</u>
<u>Emisiones líquidas</u>	
Sólidos en suspensión	0.274
Compuestos orgánicos	0.036
H ₂ SO ₄	0.046
Cloratos	0.014
Fosfatos	0.023
Boro	0.182
Cromatos	0.001
<u>Subtotal</u>	<u>0.576</u>
<u>Total</u>	<u>12.025</u>
<u>Fuente: UNEP, The Environmental Impacts of Production and Use of Energy, Nairobi, 1979.</u>	

Cuadro 48

EMISIONES POR COMBUSTION DE MATERIA
VEGETAL EN PLANTA TERMoeLECTRICA

(Emisiones en ton/ktpe)

SO ₂	4.404
CO _x	17.615
NO _x	5.284
HC	5.284
Partículas	30.826
Otras emisiones	regular cantidad

Fuente: UNDP, UNEP, OLADE: Energy Alternatives in Latin America. Study of Capabilities for the Use of Non-Conventional Energy Sources, Quito, 1979. En cuanto a las partículas, estas se calculan como 1% del combustible utilizado (175 000 toneladas diarias de leña), según R. Perry y C. Chilton (editores), Chemical Engineers' Handbook, Mc Graw Hill, 5a. edición.

Notas

1/ Enrique Iglesias, "Message from the New Secretary-General". United Nations Conference on New and Renewable Sources of Energy, Conference News, 4, 1981.

2/ Cuociente entre tasa de aumento del consumo de energía y tasa de crecimiento del producto bruto.

3/ CEPAL, Plan regional de acción en materia de fuentes de energía nuevas y renovables, E/CEPAL/CONF.73/L.2/R.3, 1981. Estudio del desarrollo industrial, volumen especial para la Segunda Conferencia General de la ONUDI, citado por O. Sunkel en La dimensión ambiental en los estilos de desarrollo de América Latina, E/CEPAL/G.1143, agosto de 1981.

4/ Véase por ejemplo: Mans Lönnroth, Peter Steen, Thomas B. Johansson, Secretariat for Future Studies, Sweden, Energy in Transition: A Report on Energy Policy and Future Options, University of California Press, 1980; y UN, Consultative Committee on Substantive Matters, Energy Issues in a long-term Development Perspective, New York, octubre de 1980.

5/ Este no sería evidentemente el caso cuando el precio se mantiene fijo a niveles artificialmente bajos.

6/ Véase Ernst B. Berndt, "Aggregate Energy, Efficiency and Productivity Measurement", Annual Review of Energy, vol. 3, 1978. Berndt ha calculado que para los Estados Unidos en el período 1947-1971, el coeficiente energía/output = E/Y es del orden de 0.04. Estudios recientes para Chile muestran una incidencia de la energía en los costos industriales y en los presupuestos familiares del orden de 6% en promedio. (Citado por S. Alvarado y E. Lukachewsky en Eficiencia en el uso de la energía en Chile, I Seminario Latinoamericano de Conservación y Racionalización en el Uso de la Energía, Valparaíso, Chile, 1980.)

7/ Véase entre otros, UN Consultative Committee on Substantive Matters, "Energy Issues ...", op. cit.

8/ Sin embargo, hay proyecciones recientes que suponen precios reales, futuros estacionarios o decrecientes, sobre todo en el corto plazo. En todo caso, la limitación real de disponibilidad de recursos petrolíferos hace muy probable el incremento de precios por disminución del recurso y costos mayores de explotación en el largo plazo, que es lo que interesa en este trabajo.

9/ En relación a esta pregunta cabe tener presente una distinción importante entre "energía primaria", "energía secundaria" y "energía de uso final". Considérese, por ejemplo, la electricidad utilizada por un artefacto electrodoméstico: la energía primaria sería la cantidad de carbón (del orden de 3 unidades) requerida para generar 1 unidad de electricidad (energía secundaria) en una planta termoeléctrica; la energía de uso final, que efectivamente llega al usuario, será inferior a una unidad, habida cuenta de las pérdidas de transmisión y distribución; la energía útil será aún menor, ya que el artefacto normalmente no opera con 100% de eficiencia.

10/ En 1980 los países miembros de la Agencia Internacional de Energía destinaron a investigaciones energéticas relacionadas con la oferta (recursos convencionales y no convencionales) el 94% del presupuesto de investigación en energía de los gobiernos y aproximadamente el 71% del presupuesto del sector privado.

11/ Ignacy Sachs, "Estrategias de desarrollo con requerimientos energéticos moderados -Problemas y enfoques", Revista de la CEPAL, NQ 12, diciembre de 1980.

12/ Posiblemente llama la atención el haber utilizado un período retrospectivo más corto que el período prospectivo. Las razones son dos: en el caso de los países industrializados se consideró prudente, para evitar distorsiones, situarse a partir de aproximadamente una década después del término de la Segunda Guerra Mundial; en el estudio del país caso, además de la misma razón anterior, se dispone de series estadísticas completas y confiables sólo desde 1960.

13/ Véase Revista de la CEPAL Nº 12, diciembre 1980; O. Sunkel y N. Gligo (selección), Estilos de desarrollo y medio ambiente en la América Latina, Serie Lecturas, Nº 36, Fondo de Cultura Económica, México 1980 (2 vol.); N. Gligo, Estilos de desarrollo, modernización y medio ambiente en la agricultura latinoamericana, Estudios e Informes de la CEPAL, E/CEPAL/G.1117, junio de 1981 y O. Sunkel, La dimensión ambiental ..., op. cit.

14/ La expresión "neto" se refiere a que el proceso de desarrollo también puede afectar negativamente la productividad y el nivel de vida en virtud del agotamiento de los recursos naturales y el deterioro ambiental a que puede dar lugar.

15/ Véase al respecto Banco Interamericano de Desarrollo, Energy Investments and Financing Requirements in Latin America in the 1980's (publicación mimeografiada); World Bank, Energy Options and Policy Issues in Developing Countries, World Bank Staff Working Paper Nº 350, agosto de 1979.

16/ Robert H. Socolow, "The Coming Age of Conservation", en Annual Review of Energy, vol. 2, 1977. Con el fin de precisar el significado que se atribuye a los términos que figuran en la ecuación indicada, se ilustrará su aplicación mediante un ejemplo: para el transporte de carga por ferrocarril, la "intensidad" es equivalente a un consumo específico, expresado como la cantidad media de energía requerida para trasladar una tonelada a lo largo de un kilómetro; el "nivel de actividad" representa el total de carga transportada por ferrocarril durante un año, expresada en toneladas-kilómetro por año; el producto de ambos factores da como resultado el consumo de energía en este rubro en un año determinado.

17/ Se podría argumentar que este enunciado (el principio de factorización) constituye una tautología. En términos formales, esto puede ser cierto, pero desde el punto de vista del diseño de estrategias, el actuar sobre uno u otro de los factores significa optar por políticas radicalmente diferentes.

18/ Para una definición del concepto de "estilo de desarrollo" e ideas afines como "estilo ascendente" y "estilo dominante", véase A. Pinto, "Notas sobre los estilos de desarrollo en América Latina", Revista de la CEPAL, Nº 1, primer semestre de 1976; O. Sunkel y N. Gligo (selección), op. cit.; O. Sunkel, La dimensión..., op. cit.

19/ Razones de tiempo y de disponibilidad de información impusieron esta restricción. Hubiera resultado deseable examinar los casos de otros países latinoamericanos: uno de mayor desarrollo relativo, uno en situación intermedia y otro de menor desarrollo, y además contrastar los casos de países exportadores e importadores de petróleo.

20/ Se ha elegido una tasa de aumento del PGB relativamente elevada, ya que el estudio postula un objetivo de crecimiento económico alto y sostenido. Esto no significa necesariamente una presión inaceptable sobre el conjunto de los recursos, como lo demuestran algunas experiencias históricas de crecimientos a tasas altas, como es el caso típico de Japón. Por otra parte, un crecimiento bajo o nulo conduciría a un resultado menos relevante desde el punto de vista energético, y trivial en términos de los escenarios. En todo caso, el análisis con base de valores del PGB inferiores no puede ser intentado en el marco limitado a cálculos manuales de este trabajo, que no dispuso de medios de computación para efectuar dichos cálculos. Cabría agregar que este valor es utilizado por J. Trénova en América Latina. Estimación del consumo de energía comercial en los años 1980, 1985, 1990 y 2000 por fuentes primarias, documento interno de trabajo, 1978

21/ Véase, por ejemplo, S. Alvarado y R. Schmidt, La energía solar en el balance energético nacional, trabajo presentado a la XV Convención de UPADI, Santiago, 1978; J. Pedrals, Energía 1979/1990, Fundación BHC, Santiago, 1979; J. Trénova, "América Latina. Estimación ...", *op. cit.*, y J. Trénova, Perspectiva de la energía solar como sustituto del petróleo en América Latina hasta el año 2000, documento E/CEPAL/PROY.2/R.15/Rev.1, 1979.

22/ Por lo tanto, no se estiman crecimientos sectoriales del producto, ejercicio que sería necesario realizar en un estudio prospectivo que se propusiera llegar a recomendaciones concretas de estrategias y políticas.

23/ Sobre los mecanismos gubernamentales que podrían utilizarse, desde la planificación central a decisiones descentralizadas basadas en "precios sombra", no cabe pronunciarse en el marco de este trabajo, aunque, evidentemente, este es un problema de la mayor importancia al momento de plantearse la aplicación de escenarios de desarrollo de este tipo en la práctica.

24/ En el caso de Chile, el índice de precios para las manufacturas producidas internamente aumentó cerca de 9 000 veces entre 1967 y 1977. En el mismo período, el precio pagado por los industriales por petróleo aumentó 14.2 mil veces; por carbón 10.6 mil veces; por gas natural 7.4 mil veces; por electricidad 7.2 mil veces, y por leña 10.1 mil veces (comunicación de L. Willmore). Aunque estas variaciones son significativas al comparar fuente por fuente revelan un comportamiento similar de aumento, siguiendo al petróleo como precio líder.

25/ Ktpe = mil toneladas de petróleo equivalente = 44×10^{12} Joule. En este documento se emplea la ktpe como unidad común para todas las formas de energía primaria y secundaria, así como sus múltiplos y submúltiplos.

26/ Tras la realización del presente estudio, se

ha diseñado un nuevo proyecto de más largo aliento, cuya metodología empleará un modelo econométrico y un submodelo energético.

27/ Se ha utilizado la equivalencia 1 000 MW (e) año = 1 535 ktpe (véase el capítulo IV).

28/ Comisión Nacional de Energía, Potencial energético de los recursos forestales entre la V y X Región del país, Santiago, 1980.

29/ La productividad energética del bosque puede estimarse en 4 tpe/por hectárea al año, lo que implicaría un aumento de aproximadamente 1.5 millones de hectáreas con fines exclusivamente energéticos.

30/ El Banco Mundial, sobre la base de estimaciones de la FAO, estima que en 1990 los recursos orgánicos renovables serían el equivalente de 82 GJ/hab/año (71 de origen forestal y 11 de otros), lo cual representa aproximadamente 25 000 ktpe/año (Banco Mundial: Prospects for Traditional and Non-Conventional Energy Sources in Developing Countries", World Bank Staff Working Paper Nº 346, julio de 1979).

31/ S. Alvarado y R. Schmidt, La energía solar ..., op. cit.

32/ Ningún año ha excedido los 6 000 ktpe (incluyendo gas natural).

33/ J. Pedrals, Energía ..., op. cit.

34/ Comisión Nacional de Energía, Potencial energético ..., op. cit.

35/ Banco Interamericano de Desarrollo, Energy Investments ..., op. cit.

36/ En cuanto a la medición del consumo de energía, un problema radica en los factores de conversión necesarios para expresar todas las formas de energía en unidades homogéneas. Se puede suponer que un determinado combustible, por ejemplo el carbón, tiene el mismo poder calorífico (kcal/kg) en los diferentes países, aun cuando no sea rigurosamente así. En todo caso, existen al respecto convenciones internacionales bien establecidas. Otro problema consiste en el tratamiento de la energía hidromecánica. Existen dos alternativas: o valorar la hidroelectricidad a través del coeficiente teórico (860 kcal/kWh) o utilizar un coeficiente técnico que represente la energía térmica que deben proporcionar los combustibles en la generación termoeléctrica (del orden de 2 500-3 000 kcal/kWh, que equivale aproximadamente a suponer un rendimiento de 30-35%).

En cuanto a la medición del PGB, el mayor problema consiste en convertir los datos medidos en monedas nacionales en una unidad monetaria común que permita las comparaciones entre países. El uso de las tasas de cambio de mercado tiene obvias desventajas, por lo que se han propuesto tasas que reflejen el real poder adquisitivo de la

moneda de cada país. Las bases para establecer estas tasas se encuentran, por ejemplo, en Kravis, Irving B.; Kenessey, Zoltan; Heston, Alan y Summers, Robert: A System of International Comparisons of Gross Product and Purchasing Power, publicado para el Banco Mundial por Johns Hopkins University Press, Baltimore, 1975.

Los datos que a continuación se entregan suponen, salvo indicación en contrario, que la hidroelectricidad se ha valorado a través del coeficiente técnico correspondiente a un rendimiento de 35% y el PGB se ha valorado usando la tasa dada por el poder adquisitivo.

37/ Joel Darmstadter, Joy Dunkerley y Jack Alterman, How Industrial Societies Use Energy. A Comparative Analysis, publicado para Resources for the Future, por Johns Hopkins University Press, Baltimore, 1977.

38/ Darmstadter et al, How Industrial Societies ..., op. cit.

39/ Cifras calculadas por Darmstadter et al, op. cit, a partir de estadísticas de las Naciones Unidas y de CCDE.

40/ Como se sabe, la generación termoeléctrica ocasiona pérdidas (calor disipado en el ambiente) que son del orden de dos veces el equivalente de la electricidad producida. Estas pérdidas resultan inevitables en conformidad a la 2^a ley de la termodinámica.

41/ United Nations, World Energy Supplies 1950-1974.

42/ L. Schipper y A.J. Lichtenberg, "Efficient Energy Use and Well-Being: The Swedish Example", en Energy II: Use, Conservation and Supply, editado por Philip H. Abelson y Allen L. Hamond, American Association for the Advancement of Science, Washington, 1978.

43/ Morris, David, Measuring the Conditions of the World's Poor. The Physical Quality of Life Index, publicado para Overseas Development Council, Pergamon Press, Elmsford, 1979.

44/ L. Schipper y A.J. Lichtenberg, "Efficient Energy ...", op. cit.

45/ Ibidem.

46/ Véase el anexo 1, relativo a precios de energía.

47/ Ibidem.

48/ J. Darmstadter et al, Energy in the World Economy, publicado para Resources for the Future, Inc. por The Johns Hopkins Press, Baltimore, 1971.

49/ J. Chesshire y K. Pavitt, "Some Energy Futures", en World Futures. The Great Debate, editado por C. Freeman y M. Jahoda, Martin Robertson & Co. Ltd., Londres, 1978.

50/ Darmstadter et al, How Industrial Societies ..., op. cit.

51/ En Estados Unidos los insumos energéticos representaron, respecto del PGB, un 3.0% en 1972 y un 5.2% en 1976. Se estima que en los próximos años las inversio

nes anuales en los países en desarrollo pueden llegar a un 3.2% del PGB proyectado a 1990 (esta última cifra corresponde a estimaciones del Banco Mundial en Energy in the Developing Countries, agosto 1980) y a un 7% del PNB, hacia el año 2000, en los países en desarrollo fuera de la OPEP (cifra señalada por E. Lebre La Rovere: Energie et Style de Développement: Le Cas du Brésil, Tesis, Ecoles des Hautes Etudes en Sciences Sociales, París, 1980).

52/ Osvaldo Sunkel, Estilos de desarrollo ..., op. cit.

53/ Véase el capítulo II relativo a la energía en los países industrializados.

54/ Comisión Nacional de Energía, Balance de energía 1960-1978, Chile, Santiago, Chile, 1980.

55/ CEPAL, "América Latina y el Caribe: Producto interno bruto global e industrial y estructura del sector manufacturero desde 1950 hasta finales de la década de 1970", E/CEPAL/L.236, Santiago, 1981.

56/ Comisión Nacional de Energía, Balance de ..., op. cit.

57/ S. Alvarado y R. Schmidt, La energía solar ..., op. cit.; E. Lukachewsky, "Eficiencia en el uso de energía en Chile", memoria de título, Universidad de Chile, 1980; J. Pedrals, Energía ..., op. cit.; J. Trénova, América Latina. Estimación ..., op. cit.; J. Trénova, Perspectiva de la energía solar ..., op. cit.; Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, Requerimientos futuros de fuentes no convencionales de energía en América Latina, (síntesis preparado por un equipo conjunto PNUD/OLADE, del estudio elaborado por la Fundación Bariloche), Quito, 1979.

58/ Bruno Philippi, "Síntesis de la situación energética de Chile", en Desarrollo energético en América Latina y la economía mundial, editado por Heraldo Muñoz, Instituto de Estudios Internacionales de la Universidad de Chile, 1980.

59/ Como se destacó antes, las cifras utilizadas tienen principalmente un valor ilustrativo, como perfiles adecuados para la argumentación central, y, por lo tanto, no deben ser tomadas como proyecciones de demanda y oferta de energía.

60/ J. Trénova, América Latina. Estimación ..., op. cit.

61/ J. Pedrals, Energía ..., op. cit.

62/ R.G. Ridker y W.D. Watson, To Choose a Future. Resource and Environmental Consequences of Alternative Growth Paths, publicado para Resources for the Future por Johns Hopkins University Press, Baltimore, 1980, presentan proyecciones mundiales que implican los siguientes coeficientes de elasticidad: 1980-1990: 0.87; 1990-2000: 0.88; 2000-2025: 0.85.

Por su parte, el Workshop on Alternative Energy Strategies (WAES): Energy Supply-Demand Integration to the Year 2000, MIT Press, Cambridge, Mass., 1977, proyecta coeficientes de elasticidad para el período 1985-2000 entre 1.00 y 1.05 en países de ingreso medio no pertenecientes a la OPEP, grupo dentro del cual se encuentran los países sudamericanos del cono sur. De acuerdo a los diferentes escenarios estudiados, las variaciones porcentuales del coeficiente de elasticidad en 1985-2000, respecto del período anterior (1970-1985) fluctúa entre -9 y -5%; en 1976-1985 sería -11% con relación a 1960-1972.

63/ EXXON, "World Energy Outlook", 1978.

64/ Empresa Nacional de Electricidad S.A., Producción y consumo de energía en Chile, Santiago, 1976. Señala que el coeficiente de electrificación ha variado desde un 18.8% en 1940 al 35.4% en 1976, considerando sólo la energía comercial.

65/ Comisión Nacional de Energía, Balance de ..., op. cit.

66/ Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, Requerimientos futuros ..., op. cit.

67/ Léniz y Silva, ingenieros consultores, comunicación privada, 1979.

68/ CELADE, Boletín Demográfico, Nº 23, Año XII, Santiago de Chile, 1979.

69/ Comisión Nacional de Energía, Balance de ..., op. cit.

70/ Ibidem.

71/ Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, Requerimientos futuros ..., op. cit.

72/ E. Lukaschewsky, "Eficiencia en el uso ...", op. cit.

73/ Comisión Nacional de Energía, Balance de ..., op. cit.

74/ Corresponde al sector secundario: incluye las industrias extractivas (minería), las industrias de transformación (procesamiento de materiales) y la construcción, pero no incluye la industria energética (centros de transformación).

75/ Comisión Nacional de Energía, Balance de ..., op. cit. Electricidad valorada según coeficiente teórico $1 \text{ kWh} = 860 \text{ kcal} = 0.08 \text{ kgpe}$.

76/ E.L. La Rovere, Energie et Style ..., op. cit. Electricidad valorada según equivalencia $1 \text{ kWh} = 3 \text{ 100 kcal} = 0.29 \text{ kgpe}$.

77/ Darmstadter et al, How Industrial Societies ..., op. cit.

78/ Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, Requerimientos futuros ..., op. cit.

79/ El consumo específico es del orden de 700 kgpe/tonelada de cobre fino, con tendencia a crecer con una

tasa anual media del 0.5%. (E. Lukaschewsky: "Eficiencia en el uso ...", op. cit.)

80/ Comisión Nacional de Energía, Balance de ..., op. cit.

81/ G. Villaseca y R. Larraín, Plan de disminución de consumo de energía en Huachipato, documento mimeografiado, CAP, 1980.

82/ Comisión Nacional de Energía, Balance de ..., op. cit.

83/ S. Alvarado y R. Schmidt, La energía solar ..., op. cit.

84/ Comisión Nacional de Energía, Balance de ..., op. cit.

85/ Edmundo Acevedo (Facultad de Agronomía de la Universidad de Chile): comunicación privada.

86/ E. Lebre La Rovere, Energie et Style ..., op. cit., atribuye en su escenario de referencia para Brasil un consumo porcentual del 3.8% distribuido en 98.9% de combustibles y 1.1% de electricidad (año 2000).

87/ Comisión Nacional de Energía, Balance de ..., op. cit. Por demás sectores se debe entender industria, transporte, residencial-comercial y agricultura.

88/ Ibid.

89/ La forma en que la generación eléctrica se distribuyó entre generación hidráulica y térmica se explica en el anexo 3.

90/ Observaciones de los autores.

91/ OECD, Energy Conservation in the International Energy Agency, 1976, París, 1976.

92/ EPA, California Gas Mileage Guide, 1977.

93/ Darmstadter et al, How Industrial Societies ..., op. cit.

94/ E. Lukaschewsky, "Eficiencia en el uso ...", op. cit.

95/ G. Rodríguez, "Importancia de las aislaciones térmicas en la crisis energética", en Revista del IDIEM, vol. 18, Nº 3, Santiago, diciembre de 1979.

96/ La tarifa eléctrica nocturna tendría que ser muy atractiva para sustituir combustible por electricidad en calefacción.

97/ Ibid.

98/ La electricidad para iluminación del subsector residencial es un 30% de la electricidad del sector. Véase E. Lukaschewsky, op. cit.

99/ Se estima que, en promedio, la incidencia de la energía en el costo de los productos industriales es del 6%. Ciertamente algunas industrias presentan valores muy superiores.

100/ N. Gligo (CEPAL), comunicación privada.

101/ Esta afirmación no es universalmente aceptada.

Algunos autores sostienen que la agricultura tradicional y otras técnicas pueden originar consumos de energía. Por ejemplo, Commoner afirma que las granjas convencionales requieren 18 400 Btu por cada dólar de producción en tanto que las granjas "orgánicas" sólo necesitan 6 800 Btu/dólar. Véase B. Commoner, The Poverty of Power, Energy and the Economic Crisis, Alfred A. Knopf, Nueva York, 1976.

102/ Cifra calculada a partir de datos de Darmstadter et al, How Industrial ..., op. cit.

103/ B. Commoner, The Poverty of Power ..., op. cit.

104/ Las fuentes no tradicionales incluyen: energía solar y eólica, biogás, alcohol, leña y residuos vegetales quemados con alta eficiencia.

105/ Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, Requerimientos futuros ..., op. cit.

106/ En Estados Unidos, por ejemplo, el transporte urbano de personas representó en 1970, el 34.7% de la energía utilizada por todo el sector (E. Hirst: "Energy Intensiveness of Passengers and Freight Transportation Modes", Oak Ridge National Lab. ORNL-NSF-EP-44, 1973).

107/ Si el transporte interurbano de personas se realiza principalmente en automóvil, habría un aumento en el consumo del subsector transporte terrestre. Por lo tanto el movimiento interurbano de personas utilizará preferentemente medios colectivos de locomoción.

108/ K.M. Friedman y R.M. Obermann, "Transportation and Telecommunications: The Energy Implications", Annual Review of Energy, vol. 4, Palo Alto, California, 1979.

109/ Estimación basada en la distribución a 1995 proyectada por la Fundación Bariloche en Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, Requerimientos Futuros ..., op. cit., Región IV, Zona IV.

110/ Cifras basadas en el estudio de la Fundación Bariloche, considerando un incremento del 18% del consumo medio por habitante para elevar en 4 veces el gasto de energía para fines residenciales de los sectores de bajos ingresos. (Según A. León, de CEPAL-comunicación privada-las familias de menores ingresos gastaron en 1978, 15 veces menos energía residencial que los hogares de más altos ingresos.)

111/ Estimación basada en el cuadro 30 correspondiente al escenario A y en artículo de J.E. Rothberg, "Energy Consumption and Conservation in the United States", editado por Blair, Jones y Van Horn en Aspects of Energy Conversion, Pergamon Press, 1976.

112/ Véase escenario de referencia y escenario A.

113/ Christopher Flavin, "Energy and Architecture: The Solar and Conservation Potential", Worldwatch Paper Nº 40, Washington, noviembre de 1980.

114/ Se adoptó una contribución del orden del 24%.

El estudio del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, Requerimientos futuros ..., op. cit., menciona la posibilidad de llegar a un 30%.

115/ El contenido energético a que aquí se hace referencia no incluye la energía incorporada en los insumos materiales. H. Durán ("Estilos de desarrollo de la industria manufacturera y medio ambiente en la América Latina", en Estilos de desarrollo y medio ambiente ... (selección) op. cit.), señala para Brasil intensidades energéticas, en kgpe/mil cruzeiros que van de 194.9 (textiles) a 656.3 (productos minerales no metálicos) para 1970. L. Schipper ("Raising the Productivity of Energy Utilization", en Annual Review of Energy, vol. I, Palo Alto, California, 1976) entrega cifras para el contenido energético total de una larga lista de bienes y servicios. Estados Unidos, 1971, por ejemplo, plásticos: 218 097; aceite de cocina: 94 195; electrodomésticos: 74 042; equipo fotográfico: 64 718 Btu/dólar.

116/ Véase la nota anterior.

117/ UNEP, The Environmental Impacts of Production and Use of Energy. Part I. Fossil Fuels, Nairobi, 1979.

118/ A. del Valle, "Impacto ambiental de las alterativas energéticas", documento preparado para el Seminario de la CORFO Chile y la energía, presente y futuro, Santiago, 1980.

119/ Sam H. Schurr et al, Energy in America's ..., op. cit.

120/ Comisión Nacional de Energía, Potencial energético ..., op. cit.

121/ Recuérdese que una planta termoeléctrica debe disipar en el ambiente aproximadamente dos veces la cantidad de calor que transforma en energía útil.

122/ Sam H. Schurr et al, Energy in America's ..., op. cit.

Anexo 1

PRECIOS DE LA ENERGIA

Si bien existen razones puramente físicas o tecnológicas que pueden explicar diferentes patrones de consumo de energía entre países industrializados (por ejemplo, la existencia en Europa Occidental de un parque industrial más moderno que el de Estados Unidos), es indudable que también los precios de la energía ejercen una influencia importante sobre la eficiencia o intensidad con que esta se utiliza.

En el caso del transporte, como se puede apreciar en el cuadro 5, el consumo de energía (toneladas de petróleo equivalente por habitante) es tanto menor cuanto mayor es el parámetro precio de la gasolina/PGB por habitante. a/

En el sector residencial-comercial, para 1972, los índices de precios de la unidad de energía térmica residencial, fueron los siguientes: Estados Unidos, 100; Francia, 141; Suecia, 110; Japón, 170. Por su parte, los índices de consumo de las viviendas ascendieron a 100 en Estados Unidos, a 56 en Francia, a 64 en Suecia, y a 42 en Japón. b/ Nuevamente se observa una asociación de los altos consumos con el menor precio.

En la industria no se plantea con la misma claridad la relación entre consumo por unidad de producto y precio. Así, por ejemplo, para Estados Unidos y Japón los índices de precios (1972) son 100 y 225, en tanto que los índices energía/PGB son 100 y 103, respectivamente.

A nivel de agregación de todos los sectores, es interesante considerar el fenómeno señalado en un estudio realizado recientemente por Resources for the Future. En Estados Unidos, a partir de 1920, se produce una disminución sostenida del cociente energía/producto, no obstante que en gran parte del período (hasta 1972) los precios de la energía declinan en términos reales. c/ En el mismo estudio se ofrece, entre otras, una explicación basada en consideraciones ajenas al precio de la energía. Se dice, por ejemplo, que una caída espectacular en el precio del carbón no podría haber mantenido el uso de ferrocarriles a vapor, dada la superioridad del combustible y la

tecnología Diesel. Un alza constante del precio de la gasolina habría permitido disminuir, pero no detener, el crecimiento de la motorización,

Aun cuando los antecedentes señalados son bastante fragmentarios, permiten formular las siguientes sugerencias:

1. En general, como podría esperarse desde un punto de vista puramente económico, existe una relación inversa entre los niveles de consumo y los precios de la energía.

2. El efecto del precio no explica totalmente las diferentes intensidades energéticas, ya sea a lo largo del tiempo dentro de un país, o ya sea entre países.

3. Existen otras causas de naturaleza estructural, tecnológica y de hábitos o estilos de vida, que desempeñan un importante papel en la determinación de los distintos modelos de consumo de energía.

La importancia relativa del precio puede juzgarse a través de elasticidades de largo plazo. Nordhaus d/ consideró Estados Unidos, Francia, Alemania Occidental, Italia, Holanda y Gran Bretaña, indicando que la elasticidad al precio es de -0.8 para el consumo agregado de energía, y estimó las siguientes elasticidades sectoriales: residencial, -0.79; industria, -0.50; y transporte, -0.36.

Una comparación de los casos extremos -sector residencial y transporte- muestra diferencias sustanciales explicables por uno o más de los factores arriba sugeridos.

Por otra parte, en la medida que vaya aumentando la parte del PGB destinada a financiar inversiones en el sector energía y a cubrir los costos de los insumos energéticos, e/ así como la incidencia de la energía en la estructura de costos de la industria y el transporte, deberá manifestarse una reacción más acentuada en los niveles de consumo.

Notas al anexo 1

a/ El precio de la gasolina corriente, en 1972, fue para los cuatro países considerados: Estados Unidos, 9.8; Francia, 23.1; Suecia, 19.7; Japón, 19.7 US cents/litro, con paridades monetarias según poder adquisitivo (Darmstadter et al, How Industrial Societies Use Energy. A comparative Analysis, Resources for the Future, Johns Hopkins University Press, 1977.

b/ Consumo corregido por diferencia de clima, relativo al PGB de cada país.

c/ Sam H. Schurr, et al, Energy in America's Future, Resources for the Future, The Johns Hopkins University Press, 1969.

d/ William D. Nordhaus, "The Demand for Energy: An International Perspective", Proceedings of the Workshop on Energy Demand, Laxenburg, Austria, IIASA, mayo de 1975.

e) En Estados Unidos los insumos energéticos representaron, respecto del PGB, un 3.0% en 1972 y un 5.2% en 1976. Se estima que en los próximos años las inversiones anuales en los países en desarrollo pueden llegar a un 3.2% del PGB proyectado a 1990 (esta última cifra corresponde a estimaciones del Banco Mundial en: "Energy in the Developing Countries", agosto 1980) y a un 7% del PNB, hacia el año 2000, en los países en desarrollo fuera de la OPEP (cifra señalada por E. La Rovere: Energie et style de développement: le cas du Brésil, Tesis, Ecoles des Hautes Etudes en Sciences Sociales, París, 1980).

Anexo 2

LA ENERGIA EN LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACION

1. Introducción

Puesto que la alimentación constituye una necesidad primaria del ser humano, desgraciadamente insatisfecha para gran parte de los habitantes de los países en desarrollo, se ha considerado necesario referirse en el presente estudio, a la información existente respecto de los insumos energéticos del sistema alimentario. Dicha información es escasa, entre otras razones, por cuanto los balances energéticos nacionales normalmente desagregan los consumos en cuatro sectores clásicos: el de energía (centros de transformación), el de transporte, el industrial y el residencial-comercial. La agricultura muchas veces queda incluida en este último, y las otras etapas de la cadena alimentaria en el resto de los sectores, lo que dificulta una consideración global del tema. Esto puede deberse, al menos en el caso de la agricultura de producción, a que esta actividad representa un porcentaje pequeño (inferior al 5%) del consumo global de energía de un país.

Uno de los documentos más completos a los que se ha tenido acceso en el curso del presente estudio corresponde a un trabajo publicado por la FAO, a/ que ha servido de base para la revisión propuesta.

2. Proporción de la energía comercial consumida por la agricultura

La fracción de la energía comercial consumida por la agricultura es relativamente pequeña: en 1972 se estimó el promedio mundial en un 3.5%. Las cifras correspondientes se presentan en el cuadro 1.

Lo anterior pone de manifiesto que un incremento de los insumos agrícolas modernos (maquinarias, fertilizantes, etc.) y como consecuencia, un aumento de los insumos energéticos, ciertamente deseable, especialmente en los países en desarrollo, no afectaría significativamente el balance de energía comercial de tales países.

Cuadro 1

FRACCION DE ENERGIA COMERCIAL CONSUMIDA POR
LA AGRICULTURA, 1972-1973 a/

	Energía comercial total (tpe)	Energía en agricultura (tpe)	Porcen taje
	(1)	(2)	(2):(1)
-Países desarrollados	3.029 x 10 ⁹	0.104 x 10 ⁹	3.4
-Países en desarrollo	0.431 x 10 ⁹	0.021 x 10 ⁹	4.9
-Países de economía centralmente plani ficada	1.431 x 10 ⁹	0.046 x 10 ⁹	3.2

Fuente: FAO, Energía para la agricultura mundial, Roma, 1980.

a/ Las cifras originales están expresadas en Joule. Se efectuó la conversión a toneladas de petróleo equivalente por razones de consistencia con el resto del estudio.

Respecto del porcentaje de energía consumida por la agricultura en los países en desarrollo, cabe observar que se trata sólo de energía comercial y por lo tanto la cifra (4,9%) podría variar sustancialmente al tomar en cuenta la energía no comercial. b/

3. Desagregación del consumo de energía comercial en la agricultura de producción

Reviste interés conocer la desagregación de los insumos agrícolas principales. El cuadro 2 presenta la desagregación porcentual para 1972-1973. En todos los casos de este cuadro se observa que, desde el punto de vista energético, los principales insumos son maquinaria agrícola y fertilizantes. Ambos reúnen entre el 75% y el 97% del total de insumos.

a) Maquinaria agrícola

Este rubro considera tanto la energía necesaria para la fabricación de la maquinaria como el consumo de las mismas máquinas (básicamente petróleo).

En 1972-1973, el consumo de energía en este rubro fue de 64 x 10⁶ tpe en los países desarrollados y de 6 x 10⁶ tpe en los países en desarrollo.

b) Fertilizantes

La producción de fertilizantes requiere un alto insumo energético. El consumo específico es el siguiente:

i) fertilizante nitrogenado 1.78 tpe/ton

- ii) fertilizante fosfatado 0.31 tpe/ton
- iii) fertilizante potásico 0.20 tpe/ton

En 1972-1973 el consumo de energía en este rubro fue de 36×10^6 tpe en los países desarrollados y de 6×10^6 tpe en los países en desarrollo.

c) Riego

El rubro riego incluye los insumos energéticos necesarios para la fabricación y el funcionamiento de material y equipo para riego. La energía requerida por la operación del equipo es aproximadamente cinco veces mayor que la utilizada para la fabricación del mismo.

En 1972-1973 el consumo de energía en riego fue de 1.3×10^6 tpe para los países desarrollados y de 1.6×10^6 tpe para los países en desarrollo.

d) Plaguicidas

El rubro plaguicidas incluye herbicidas, insecticidas y fungicidas.

En 1972-1973 la energía consumida en la fabricación y aplicación de plaguicidas fue de 2.1×10^6 tpe en los países desarrollados, y de 0.2×10^6 tpe en los países en desarrollo.

Cuadro 2

INSUMOS ENERGETICOS EN LA AGRICULTURA

(Porcentaje)

	Maquinaria agrícola	Fertilizantes	Riego	Plaguicidas
-Países desarrollados	61.5	35.3	1.2	2.0
-Países en desarrollo	46.8	27.9	7.5	1.0
-Países de economía centralmente planificada	38.0	56.6	2.5	2.9

Fuente: FAO, Energía para la agricultura mundial, Roma, 1980.

4. Energía utilizada en el sistema alimentario

a) Países desarrollados

Al respecto, la información disponible no está recogida de acuerdo con criterios uniformes para efectuar las mediciones; de ahí la aparente discrepancia entre algunas cifras.

Para los Estados Unidos, el porcentaje del consumo total de energía del país correspondiente a la alimentación varía entre el 12 y el 20%, dependiendo de los límites del sistema alimentario que establezcan los autores. La agricultura de producción utiliza (de acuerdo a esta

indefinición) entre un 3 y un 3.5% de la energía nacional. En Estados Unidos, según una fuente, c/ la fracción de energía ingerida por la vía de los alimentos corresponde a 1/80 del consumo de energía por habitante. Por otra parte, para una ingestión diaria de 3 000 kcal, la población de 215 millones de habitantes (236×10^{12} kcal/año) usa $3\,780 \times 10^{12}$ kcal/año (parte de la cual se destina a la exportación). En estos términos el rendimiento global de la cadena alimentaria de los Estados Unidos es del orden del 6% (según otra fuente sería del 10%). d/

Es interesante examinar la distribución de los consumos de energía para la cadena alimentaria de acuerdo a las cifras del cuadro 3.

Cuadro 3

DISTRIBUCION DE LA ENERGIA UTILIZADA
EN LA CADENA ALIMENTARIA

Etapa de la cadena	Consumo de energía por caloría ingerida (cal)	Consumo de energía como porcentaje del consumo nacional
Producción	1.8	3-3.5
Elaboración, transporte y comercialización	5.2	5-7
Uso doméstico	3.0	4.7
<u>Total</u>	<u>10.0</u>	<u>12.7-15.2</u>

Fuentes: Ford, K.W.: "Efficient Use of Energy", Symposium Energy and Development, Guarujá, Brasil, 1978, y FAO: Energía para la agricultura mundial, Roma, 1980.

De acuerdo con ambas fuentes, dentro de la cadena alimentaria, el porcentaje del consumo de energía correspondiente a la producción en las granjas varía entre un 18 y un 23.6%. La fracción correspondiente a comercialización, transportes e industrialización varía entre el 39 y el 52%. e/ Finalmente, la fracción que corresponde a los consumos domésticos de energía (cocción y almacenamiento, principalmente), varía entre el 30 y el 37%.

Es interesante destacar que aproximadamente el 80% del consumo de energía de la cadena alimentaria se produce fuera de las granjas donde se produce el alimento.

b) Países en desarrollo

Makhijani y Poole f/ reunieron datos sobre varios prototipos de asentamientos agrícolas de ciertos países en desarrollo, los cuales permiten concluir -aunque parezca sorprendente a primera vista- que el volumen total

de energía por hectárea (incluidas la mano de obra y la energía animal que se dedica a la agricultura) es a menudo mayor que en los países industrializados. g/ Por ejemplo, en el cultivo de arroz la India utiliza 5×10^6 kcal/ton, en tanto que Estados Unidos y Japón sólo requieren 2×10^6 kcal/ton.

En los países en desarrollo, la energía humana contribuye significativamente a la energía usada en la agricultura. Se ha demostrado que la mayoría de los seres humanos pueden producir tan sólo 75 W de un modo continuo, y que únicamente es posible convertir del 20 al 30% de la energía química de los alimentos en energía mecánica, en forma de un trabajo físico. El otro 70-80% se utiliza para asegurar el crecimiento corporal y recuperarse de las enfermedades y del calor perdido.

c) Aumento de las disponibilidades de energía

Para alimentar adecuadamente una población cada vez más numerosa y atender otras necesidades sociales y económicas, es preciso aumentar considerablemente el volumen de energía utilizado por persona y por hectárea en la producción, elaboración y distribución de alimentos. La ampliación de las técnicas que hacen uso poco intensivo de la energía no producirá los excedentes necesarios para alimentar a una población urbana en rápido crecimiento, y a menudo ubicada lejos de los lugares de producción agrícola.

Antes, la política de los países en desarrollo había pasado por alto el aprovechamiento eficaz de los recursos energéticos "no comerciales", porque se disponía de petróleo barato y porque la tecnología solía tomarse prestada de países industrializados no interesados en desarrollar y explotar otras fuentes de energía. h/

La agricultura, al igual que otros sectores, tendrá que modificar su base energética, constituida hasta hoy por el petróleo. De aquí surge la necesidad de otorgar mayor importancia a las fuentes de energía "no comerciales" o, más específicamente, a la forma de aprovechar más eficazmente los recursos energéticos no tradicionales, que de hecho se utilizan en gran escala en la agricultura de los países en desarrollo. Para mencionar un solo ejemplo, considérese la energía solar aprovechada por plantas y árboles. Como se sabe, el rendimiento de la fotosíntesis es extraordinariamente bajo (inferior al 1%). Si se logra mejorar el rendimiento fotosintético de las plantas, se requerirían probablemente menores insumos energéticos comerciales en el resto de la cadena alimentaria.

Notas al anexo 2

a/ FAO, Energía para la agricultura mundial, por B.A. Stout, en colaboración con C.A. Myers, H. Hurand y L.W. Faidley, Roma, 1980.

b/ En la India, por ejemplo, se estima que el consumo de energía comercial por persona es de aproximadamente 110 kg de petróleo equivalente, en tanto que incluyendo las fuentes energéticas no comerciales alcanza a unos 320 kgpe.

c/ K.W. Ford, "Efficient Use of Energy", Symposium Energy and Development, Guarujá, Brasil, 1978.

d/ FAO, Energía para ..., op. cit.

e/ Es de interés consignar el notable aumento experimentado por la cantidad de materiales (y, por lo tanto, de energía) destinada al envasado de materiales. En los Estados Unidos, mientras el consumo de alimentos por habitante aumentó (en peso) en un 2.3% entre 1963 y 1971, los materiales para envasado aumentaron estimativamente en 38.8% (en peso por habitante). (Eileen Claussen: "Packaging Source Reduction: Can Industry and Government Co-operate?", citada por Hazel Henderson en Creating Alternative Futures, Berkeley Publ. Corp., 1978).

f/ A. Makhijani y A. Poole, Energy and Agriculture in the Third World, Ballinger Publishing Company, Cambridge 1975.

g/ Este fenómeno podría explicarse por la baja eficiencia con que generalmente se emplean las formas de energía no comercial.

h/ A. Makhijani y A. Poole, Energy and ..., op. cit.

Anexo 3

GENERACION ELECTRICA: DISTRIBUCION ENTRE GENERACION HIDRAULICA Y TERMICA

Para estimar esta distribución en el horizonte de tiempo el estudio dispone de varios antecedentes:

a) La evolución histórica de la repartición hidrotérmica de la generación. Extrapolando la tendencia histórica, en que la generación hidráulica crece con mayor velocidad que la térmica, se llegaría al año 2010 con una proporción relativamente alta de la primera (88.6%), la que evidentemente no parece aconsejable exceder, por razones de seguridad del abastecimiento. a/

b) La disponibilidad de recursos hidroeléctricos. Los recursos evaluados y no explotados alcanzan a unos 18 000 MW, de modo que, incluso si se mantiene la tasa histórica de crecimiento de la potencia hidroeléctrica (6.4% acumulativa anual entre 1940 y 1977), no se estaría utilizando la totalidad de dichos recursos; sólo se llegarían a desarrollar 12 900 MW hasta el año 2010.

c) El crecimiento histórico que ha tenido la generación hidroeléctrica (5.5% acumulativo anual entre 1945 y 1977).

d) Los requerimientos de energía eléctrica que surgen del análisis sectorial, equivalentes a 11 000 ktpe en el escenario de referencia (año 2010). b/

Con dichos antecedentes y mediante un procedimiento numérico iterativo se estableció para el año 2010 una distribución estimada que asigna, en el escenario de referencia, a la generación térmica 1 300 ktpe (11.8%) y a la generación hidráulica 9 700 ktpe (88.2%).

Lo anterior significa que la hidroelectricidad crecería a una tasa media del 5.5% (tendencia del período 1945-1977) y la termoelectricidad a una tasa del 1.1% (inferior a la del mismo período, que fue de 2.6%), lo cual parece lógico dada la buena dotación de recursos hidroeléctricos con que cuenta el país.

Para los escenarios alternativos se mantuvo la misma distribución estimada.

Notas al anexo 3

a/ Pablo Jaramillo (ENDESA), en comunicación privada, señala que en el largo plazo la generación hidráulica admite un límite similar a su actual porcentaje en el Sistema Interconectado (del orden del 85%).

El documento sobre hidroelectricidad de la Reunión Regional Preparatoria de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Fuentes de Energía Nuevas y Renovables plantea para Argentina, Chile, Paraguay y Uruguay, en conjunto, un 90% de la capacidad total servida por hidroelectricidad en el año 2000.

b/ Esta cifra incluye las pérdidas de calor en la generación térmica, las pérdidas ficticias de la generación hidráulica, las pérdidas de transmisión y los consumos propios de las centrales generadoras.

Anexo 4

IMPACTOS AMBIENTALES DE DIVERSOS ENERGETICOS

1. Petróleo y gas natural

Se analizan conjuntamente el petróleo y el gas natural dadas las similitudes entre ambos recursos, especialmente en lo que a la minería se refiere.

Los principales usos industriales y residenciales de estos combustibles son la generación de calor (mediante calderas, hornos, secadores, etc.) los usos domésticos y la calefacción. Ambos combustibles se usan también en la generación de termoelectricidad, y los derivados del petróleo son prácticamente insustituibles, en el corto y mediano plazo, en los medios autónomos de locomoción.

En la etapa de extracción del petróleo y el gas natural, ya sea ésta terrestre o submarina, los accidentes más comunes son los incendios, explosiones y derrames accidentales de petróleo. Contrariamente a lo que pudiera pensarse, la explotación submarina de estos energéticos no trae consigo daño ecológico del mar, según lo demuestran estudios de algunas zonas críticas.

En cuanto al número de accidentes, en el cuadro 1 se muestran las cifras de muertos y lesionados por una cantidad de combustible preestablecida, equivalente a 1 000 MW(e) año (para explotación terrestre y submarina).

En cuanto al transporte de petróleo por vía marítima, los riesgos potenciales de desastres ecológicos han crecido en forma paralela al tamaño de los buques de transporte, pese a que en la actualidad estos tienen un buen nivel de seguridad.

La cantidad de petróleo derramado en los distintos océanos debido a las faenas de transporte, refinación y desechos industriales y urbanos para el año 1977, correspondió al 0.2% de la producción mundial para ese mismo año.

Una pérdida de gas natural en el transporte no tiene efectos graves, ya que por su naturaleza es más fácil su descomposición y absorción por el medio ambiente.

Cuadro 1

ACCIDENTES EN MINERIA DEL PETROLEO Y GAS NATURAL
(Combustible para producir 1 000 MW(e) año)

Combustible	Muertes	Lesiones
Petróleo a/	0.50	43.0
Gas natural b/	0.40	36.3

Fuente: UNEP, The Environmental Impacts of Production and Use of Energy, Part I, Fossil Fuels, Nairobi, 1979.

a/ Se necesitan 2.7×10^7 toneladas de petróleo crudo para producir 2×10^6 toneladas de combustible que generan 1 000 MW(e) año.

b/ Se necesitan $2.2 \times 10^9 \text{m}^3$ de gas natural para generar 1 000 MW(e) año.

El gas natural es considerado un combustible limpio, entre otras razones, porque se le extrae el ácido sulfhídrico que contiene (H_2S) para cumplir con las exigencias que imponen los materiales con los que está en contacto durante su transporte y almacenamiento.

En la etapa de refinación, el petróleo produce emisiones que contaminan el medio ambiente. A continuación, en el cuadro 2 se presentan las emisiones asociadas a la producción de 1 000 MW(e) año. (Es necesario tratar 2.7×10^7 toneladas de petróleo crudo para obtener 2×10^6 toneladas de petróleo combustible, las que generan 1 000 MW(e) por año, con un rendimiento del 38%.)

Un efecto local no cuantificado es el olor proveniente de pérdidas de ácido sulfhídrico.

En cuanto al espacio, una refinería con capacidad de 1.5×10^7 toneladas de petróleo al año, ocupa un área de 520 hectáreas e inhabilita para el uso residencial otras 520 hectáreas circundantes.

En la generación de termoelectricidad a base de petróleo combustible se producen emisiones de contaminantes (que por lo demás deben ser muy parecidas a las emisiones gaseosas de los usos industriales), las que se muestran en el cuadro 3.

La razón por la cual se llama al gas natural "combustible limpio" puede apreciarse en el cuadro 4, que se refiere a las emisiones de una planta termoeléctrica que consume $2.2 \times 10^9 \text{m}^3$ de gas natural para generar 1 000 MW(e) año, cuando se comparan estas cifras con sus similares para el carbón y el petróleo combustible.

Dentro de los usos finales, el más importante efecto contaminante proviene de los combustibles usados en el transporte terrestre.

En el cuadro 5 se presentan las emisiones de los principales contaminantes (en cuanto a cantidad) dentro del sector transporte.

Cuadro 2

EMISIONES DE LA REFINACION DE 2.7×10^7 TONELADAS
DE PETROLEO CRUDO

(Toneladas)

<u>Emisiones gaseosas</u>	
SO _x	21 000
NO _x	18 000
CO	4 300
Compuestos orgánicos	23 000
Amoníaco	2 230
<u>Subtotal</u>	<u>68 530</u>
<u>Emisiones líquidas</u> (desechos de 1.4×10^8 toneladas de agua que contienen disueltos o en suspensión)	
Cloruros	24 000
Grasas	600
Amoníaco nitrogenado	600
Fosfatos	3
Sólidos suspendidos	2 000
Sólidos disueltos	100 000
Metales	22
<u>Subtotal</u>	<u>127 225</u>
<u>Total</u>	<u>195 755</u>

Fuente: UNEP, The Environmental Impacts of Production and Use of Energy, Part I, Fossil Fuels, Nairobi, 1979.

Cuadro 3

EMISIONES EN PLANTA TERMoeLECTRICA A BASE DE
PETROLEO COMBUSTIBLE a/

(Toneladas)

<u>Emisiones gaseosas</u>	
SO _x	37 000
NO _x	24 800
CO	710
Hidrocarburos	470
Aldehídos	240
Partículas	1 200
<u>Subtotal</u>	<u>64 420</u>
<u>Emisiones líquidas</u>	
Sólidos en suspensión	497
H ₂ SO ₄	83
Cloratos	26
Fosfatos	42
Boro	331
Cromatos	2
Compuestos orgánicos	66
<u>Subtotal</u>	<u>1 047</u>
Sólidos de desecho (ceniza recolectada)	9 190
<u>Total</u>	<u>74 657</u>

Fuente: UNEP, The Environmental Impacts of Production and Use of Energy, Part I, Fossil Fuels, Nairobi, 1979.

a/ Planta termoeléctrica que usa 2×10^6 toneladas de combustible refinado (1% S, 0.5% ceniza) con un rendimiento de 38% y recuperación del 99% de las cenizas, y una producción de 1 000 MW(e) año.

Cuadro 4

EMISIONES DE UNA PLANTA TERMOELECTRICA
QUE CONSUME GAS NATURAL a/

(Toneladas)

<u>Emissiones gaseosas</u>	
SO _x	20.4
NO _x	20 000
Hidrocarburos	34
Compuestos orgánicos	238
Partículas	510
<u>Subtotal</u>	<u>20 802.4</u>
<u>Emissiones líquidas</u>	
Sólidos en suspensión	497
Orgánicas	66
H ₂ SO ₄	83
Cloratos	26
Fosfatos	42
Boro	331
Cromatos	2
<u>Subtotal</u>	<u>1 047</u>
<u>Total</u>	<u>21 849.4</u>

Fuente: UNEP, The Environmental Impacts of Production and Use of Energy, Part I, Fossil Fuels, Nairobi, 1979.

a/ Una planta termoeléctrica de gas natural consume $2.2 \times 10^9 \text{ m}^3$ de gas de poder calorífico 37 MJ/m^3 para producir 1 000 MW(e) año (rendimiento 38%).

2. Carbón

Entre los principales usos actuales del carbón están la generación de termoelectricidad, la industria siderúrgica, la fabricación de gas corriente (en menor grado), la generación de vapor industrial, y algunos procesos de secado o calcinación donde se aprovecha directamente el calor de los gases de combustión. Antes de esta etapa de utilización final del carbón, hay que considerar transportes,

Cuadro 5

EMISIONES DE CONTAMINANTES ATMOSFERICOS PROVENIENTES
DEL USO DE DERIVADOS DEL PETROLEO EN EL
SECTOR TRANSPORTE a/

Contaminante	Kg/tpe <u>b/</u>
Monóxido de carbono	163.2
Oxidos de nitrógeno	19.9
Hydrocarburos	23.5

Fuente: R.G. Ridker y W.D. Watson, To Choose a Future. Resource and Environmental Consequences of Alternative Growth Paths, publicado para Resources for the Future por Johns Hopkins University Press, Baltimore, 1980.

a/ Cifras calculadas a partir de las estimaciones de las descargas de contaminantes atmosféricos por sector y consumos de energía (por sector y por fuente) para Estados Unidos, 1975.

b/ Tpe consumida en el sector.

almacenamientos y extracción de las minas, donde generalmente es sometido a procesos de lavado y de regularización de su granulometría. En cada una de estas etapas, el carbón ejerce, en mayor o menor grado, una acción que altera el medio ambiente.

Para el futuro, se visualizan los mayores cambios en la etapa de uso final; en vez de utilizarlo en su estado actual, se espera gasificarlo o licuarlo, lo que rebaja notablemente su acción contaminante convirtiéndolo en un combustible limpio. a/

En la forma en que se usa actualmente en la etapa final, los principales agentes contaminantes expelidos a la atmósfera son óxidos de azufre, óxidos de nitrógeno, monóxido y bióxido de carbono, compuestos orgánicos, cenizas, metales, etc. En un proceso de quemado en buenas condiciones tecnológicas, como la generación termoeléctrica, las emisiones son las indicadas en el cuadro 6.

En el transporte de carbón, la principal contaminación proviene de las fugas de polvo, estimadas (incluyendo carga y descarga) en un 0.1% de la cantidad transportada. En cuanto a la cantidad de accidentes fatales, para transportar 3×10^6 ton (equivalente a 1 000 MW(e) año) a lo largo de una distancia normalizada de 500 kms la cifra de muertes es de 0.03; 0.12 y 0.01, respectivamente, para las vías ferroviaria, marítima o de tuberías.

En la extracción, los principales efectos ambientales son el "drenaje ácido" de las minas, que reduce o elimina la vida acuática y que es diferente para cada

Cuadro 6

EMISIONES DE PLANTA TERMOELECTRICA A CARBON

(Toneladas) a/

Gaseosas

Partículas	3 000
Oxido de azufre	110 000
Oxido de nitrógeno	27 000
Monóxido de carbono	2 000
Hidrocarburos	400

Líquidas

Materia orgánica	66.2
Acido sulfúrico	82.5
Cloro	26.3
Fosfatos	41.7
Boro	331
Sólidos en suspensión	497

Sólidas

Cenizas	360 000
---------	---------

<u>Total</u>	<u>503 444.7</u>
--------------	------------------

Fuente: UNEP, The Environmental Impacts of Production and Use of Energy, Part I, Fossil Fuels, Nairobi, 1979.

a/ Emisiones normalizadas al suponer la generación de 1 000 MW(e) año, en una planta de rendimiento 38% (equivale a quemar 3×10^6 toneladas de carbón de poder calorífico 6 550 kcal/kg/ton, es decir, 2×10^{13} kcal/año). Se postula un contenido promedio de azufre de un 2% (para Estados Unidos, en los carbones explotados este porcentaje varía desde 0.25% a 5.73%) y ninguna desulfuración en los gases emanados.

faena; y la alteración del paisaje (minas de superficie) y de los asentamientos urbanos. Un efecto no cuantificado, pero muy perturbador en el largo plazo, es el de la contaminación de aguas subterráneas por el "drenaje ácido", ya mencionado. En las minas superficiales, un importante efecto lo constituye el polvo de carbón, que da origen a las llamadas "aguas negras", al contaminar los ríos y lagos (varía de lugar en lugar).

Las cifras de accidentes asociados a la producción de 1 000 MW(e) por año son para minas de superficie, de 0.3 accidentes fatales y 16 lesiones, y para minas subterráneas, de 0.6 accidentes fatales y 45 lesiones.

En los procesos de chancado y lavado de carbón, los efectos contaminantes provienen del polvo expelido a la atmósfera y al agua ("aguas negras") y del secado del carbón, efectuado mediante gases provenientes de su combustión y evacuados a la atmósfera. En esta etapa los contaminantes expelidos y sus efectos varían de lugar a lugar, ya que en las modernas plantas de lavado, por ejemplo, se recircula la totalidad del agua utilizada, recuperándose mediante decantación el polvo contenido en ella. Los accidentes provenientes de estas faenas están lo suficientemente estudiados: 0.08 y 5.2 muertes y lesiones respectivamente, como valores promedio para esta etapa, para el tratamiento de 3×10^6 toneladas equivalentes a 1 000 MW(e) año.

3. Biomasa

La biomasa está constituida por los recursos orgánicos susceptibles de usarse energéticamente. Tradicionalmente, la biomasa (en forma de leña) se ha usado como principal combustible en las zonas rurales, principalmente para la cocción de alimentos y la calefacción.

Usada como leña o como carbón vegetal, produce importantes efectos ambientales: el principal consiste en favorecer la desertificación por corte indiscriminado de bosques, por poda excesiva de árboles y reducción de su capacidad de crecimiento, por el corte de árboles jóvenes, que reduce la capacidad regenerativa de los bosques, o por excesivo raleo, lo que en algunos casos hace al bosque susceptible a efectos provocados por el viento o el sol.

Es perfectamente factible reducir la demanda de madera para fines energéticos por parte de las cocinas domésticas rurales: sustituyendo los artefactos tradicionales por otros más eficientes, puede obtenerse el mismo rendimiento con hasta un 70% menos de leña.

La composición de las emisiones atmosféricas es muy variable, dependiendo del tipo de madera usada, el grado de humedad de ésta y las características técnicas del aparato usado para quemarla. Una planta de 1 000 MW(e), con factor de carga 1 y rendimiento térmico 34%, consume aproximadamente 17 500 toneladas de leña (5 677 tpe) diariamente. (Véase el cuadro 7.)

La quema de madera provoca emisiones de partículas, hidrocarburos aromáticos policíclicos y monóxido de carbono. La eliminación de los bosques aumenta el nivel de dióxido de carbono, por el efecto combinado de la emisión al quemar la madera y de la reducción de la fotosíntesis.

Al convertir la madera en carbón vegetal mejora su calidad como combustible: aumenta su poder calorífico por

unidad de masa, se facilita su transporte y almacenamiento y se reducen notablemente las emisiones en el proceso de combustión.

Un buen manejo de los bosques con fines energéticos elimina los peligros de la desertificación, pero entra en competencia con los usos agrícolas (producción de alimentos).

Cuadro 7

EMISIONES DE PLANTA TERMoeLECTRICA (1 000 MW(e))
ALIMENTADA CON MATERIA VEGETAL a/
(Toneladas/día)

Emisión	Cantidad
SO ₂	25
CO _x	100
NO _x	30
HC	30
Partículas <u>a/</u>	175
Otras emisiones	Regular cantidad
<u>Total</u>	<u>360</u>

Fuente: UNDP, Energy Alternatives in Latin America. Study of Capabilities for the Use of Non-Conventional Energy Sources, Quito, 1979.

a/ Estas últimas se calculan como 1% del combustible utilizado (175 000 toneladas diarias de leña) según Chemical Engineers' Handbook, R. Perry y C. Chilton (ed.), Mc Graw Hill, quinta edición.

En cuanto al uso del recurso suelo con fines energéticos, puede decirse que una plantación de entre 50 y 60 hectáreas puede abastecer de madera combustible a un pueblo de 1 000 familias (aproximadamente 125 m²/hab, si las familias tienen un número promedio de cuatro personas).

Otra importante forma de aprovechar la biomasa en zonas rurales es convirtiendo, mediante un digestor anaeróbico, la materia fecal en gas combustible o biogás. Este sistema se encuentra ampliamente difundido en China, país en el cual prácticamente habían desaparecido los bosques en la década de 1940. El conjunto formado por la biomasa, el biogás y la bioproductividad es el medio de controlar beneficiosamente los desechos orgánicos, especialmente en áreas rurales de países en vías de desarrollo. El biogás obtenido puede usarse para cocción de alimentos, calefacción, iluminación y combustible para motores generadores de electricidad.

Los requerimientos de biogás, dependiendo del uso, son los siguientes:

Cocina	0.28 - 0.42	m ³ /día/persona
Iluminación	0.11 - 0.15	m ³ /hr (gas equiv. a 60 W)
Electricidad	0.6 - 0.7	m ³ /kWh(e)

El remanente de los digestores es un rico fertilizante que puede ser usado directamente en los campos o bien en el cultivo de algas como alimentos para animales. La digestión anaeróbica elimina la mayor parte de los organismos patógenos y puede ser una buena manera de reducir las enfermedades parasitarias en áreas rurales.

Los problemas ambientales consisten principalmente en el manejo y almacenamiento de la materia prima del digestor, en cuestiones de seguridad provenientes de la manipulación del gas combustible, y en menor grado en el manejo de los desechos líquidos del digestor y en las necesidades de terreno.

El uso de la biomasa para la producción del alcohol etílico ya es masivo en Brasil, donde el alcohol se mezcla con gasolina. Mejora así las propiedades de la gasolina, disminuyendo las emisiones de los vehículos y aumentando el rendimiento de los motores. El cultivo de la materia prima (caña de azúcar, cassava, etc.) exige terreno, agua y fertilizantes; incide en la productividad del suelo y entra en competencia con la producción de alimentos. La obtención del etanol mismo a partir de la caña de azúcar, por ejemplo, trae consigo la producción de "stillage" en los procesos de destilación, en un volumen que supera en 12 a 13 veces la cantidad de etanol obtenido.

4. Energía nuclear

Los impactos ambientales de la energía nuclear se pueden examinar tomando en cuenta las diferentes etapas del ciclo de combustible (minería, refinación, enriquecimiento, fabricación, quemado, reprocesamiento, etc.). El

presente estudio no pretende describir exhaustivamente los efectos ambientales de este recurso energético; a continuación se presentan algunos datos y cifras relacionados con los efectos considerados más relevantes.

Dado que un reactor de 1 000 MW(e) del tipo más utilizado (LWR) requiere unas 200 toneladas de óxido de uranio por año, se hace necesario remover aproximadamente 3×10^6 toneladas de material. b/ Por otra parte, se estima que el riesgo radiológico ocupacional más importante en la minería del uranio es la exposición a los elementos descendientes del radón. Las muertes ocupacionales debidas a todas las causas en la minería subterránea del uranio se estiman entre 0.23 y 0.34 por 1 000 MW(e) año, de las cuales 0.03 a 0.10 son provocadas por exposición a radiaciones (cáncer pulmonar). c/ El mismo informe indica que la población general de los Estados Unidos está expuesta, en razón de la minería del uranio, a un riesgo de mortalidad por cáncer de 0.09 por 1 000 MW(e) año.

Los riesgos asociados a la operación de las plantas nucleares han sido estimados dentro de un amplio intervalo. Las muertes esperadas por reactor-año (debidas a accidentes) estarían comprendidas entre 0.02 y 10.00. d/ La cifra baja corresponde a una hipótesis optimista adoptada en el que se conoce como informe Rasmussen, e/ que ha sido motivo de gran controversia; el valor más alto proviene de otro estudio que adopta hipótesis pesimistas. f/

Sin embargo, parece haber consenso en que el problema ambiental más serio relacionado con la operación de los reactores nucleares (así como con otras instalaciones del ciclo de combustible) es la evacuación de desechos radioactivos. g/ Se ha calculado que una cantidad de reactores equivalente a 300 000 MW(e), que es la potencia nuclear que se espera para los Estados Unidos en el año 2 000, h/ produce anualmente 13×10^6 Ci de desechos radioactivos y que la cantidad de desechos acumulados sería en ese mismo año del orden de 300×10^9 Ci. i/ Tales desechos contienen, entre muchos otros elementos, plutonio 239, material fisionable que, recuperado, puede emplearse como combustible nuclear o destinarse a la fabricación de explosivos nucleares.

Otro aspecto ambiental es el de la ocupación de terreno. De acuerdo con la experiencia existente, el promedio se encuentra alrededor de las 40 hectáreas por 1 000 MW(e). Los sistemas de enfriamiento, que también son necesarios en plantas térmicas a carbón o petróleo, requieren del orden de 6.5 ha y 860 ha por 1 000 MW(e) para torres y lagunas de refrigeración, respectivamente. j/

En forma global, se estima que la industria nuclear de los Estados Unidos, asociada a la tecnología de los LWR, k/ representa un riesgo de mortalidad por cáncer

de 0.12 y 0.20 por 1 000 MW(e) año para la población y para los trabajadores, respectivamente. En la última cifra el riesgo derivado de la operación de las centrales nucleares equivalente aproximadamente a la mitad. 1/

5. Geotermia

La energía geotérmica se ha empezado a utilizar sólo en el presente siglo con fines de generación eléctrica y suministro de calor doméstico e industrial.

Las emisiones de contaminantes varían con la forma de aprovechamiento del recurso. En los pozos en los que el calor se capta mediante un intercambiador, reinyectándose luego el agua, no hay contaminación atmosférica; si el agua y el vapor son expulsados a la atmósfera, dicha contaminación puede alcanzar niveles elevados.

El desarrollo intensivo de un área geotermal tiene el mismo tipo de exigencias que cualquier gran operación de ingeniería civil (camino, construcciones, campamentos, acumulación de equipos, etc.), entre las cuales cabría destacar la necesidad de espacio. Para un campo geotermal de alta temperatura, se precisa un área del orden de 1 km por cada 25 a 50 MW(e). m/

El efecto del desarrollo geotérmico sobre la fertilidad del suelo parece ser mínimo; puede esperarse cierta erosión de los terrenos en zonas blandas, aunque la experiencia ha mejorado las técnicas en ese sentido.

Las sustancias contaminantes contenidas en las fuentes geotérmicas dependen de la composición química del fluido geotermal. Hay ácido sulfhídrico, dióxido de carbono, amoníaco, hidrógeno y metano, pequeñas cantidades de mercurio, selenio y arsénico; la radioactividad es prácticamente nula. El cuadro 8 muestra las principales emisiones atmosféricas en una planta de potencia.

Otro efecto importante que es necesario considerar es la descarga térmica, también variable; mientras mayor es la temperatura y presión del vapor utilizado, más alto es el rendimiento térmico de la instalación. En una fuente geotermal no se alcanzan a producir (en la mayoría de los casos) las condiciones de presión y temperatura existentes en una caldera de una central, lo que hace que la eficiencia térmica baje a aproximadamente el 14%; n/ el 86% del calor restante va al medio ambiente.

Cabría también considerar otro impacto potencial serio: el hundimiento del terreno como resultado de la extracción de fluidos geotermales. Por ejemplo, en Wairakei, Nueva Zelanda, donde el agua de desecho se descarga a un río en lugar de ser reinyectada, el movimiento vertical máximo ha excedido 3.7 m desde 1956, afectando un área de 65 km². o/

Cuadro 8

PLANTA GEOTERMICA DE POTENCIA: PRINCIPALES
EMISIONES ATMOSFERICAS

(Ton/1 000 MW(e) año)

Contaminante	Valor máximo	Valor mínimo	Valor medio
H ₂ S	60 000	3 000	34 600
NH ₃	17 000	500	8 700
CO ₂	4 000 000	80 000	1 976 000

Fuente: UNEP, Energy Alternatives in Latin America Study of Capabilities for the Use of Non-Conventional Energy Sources, Quito, 1979. Se basó en observaciones en The Geysers, Larderello, Wairakei, Broadlands y Cerro Prieto. Como información ilustrativa, una planta de 100 MW(e) en un campo predominantemente de vapor requiere aproximadamente 10⁷ toneladas de fluido por año.

6. Energía solar

La aplicación de la energía solar a la atención de necesidades residenciales de calor a baja temperatura reduce la demanda de combustibles fósiles, y por lo tanto la contaminación asociada a ellos. Si bien con este medio no es posible satisfacer todas las necesidades de calor de las viviendas (dada la existencia de zonas donde se hace difícil su aplicación y la característica de intermitencia del recurso), su efecto se considera importante para el ahorro de los combustibles tradicionales.

En el futuro se prevé la construcción de centrales eléctricas solares. En el caso residencial, los colectores pueden ubicarse en los techos, por ejemplo, y no se precisan grandes espacios dado el carácter descentralizado y la menor calidad p/ de la energía necesaria. Una central eléctrica, en cambio, necesariamente debe captar gran cantidad de radiación solar; por lo tanto, dada la baja densidad del recurso a nivel de la superficie (del orden de 1 kW/m² en las mejores condiciones), se requieren extensas áreas de captación. Una planta de 1 000 MW(e) de potencia necesita una superficie de 30 km² aproximadamente.

La necesidad de superficies colectoras modifica el paisaje, en un caso, o la apariencia de las viviendas (helioarquitectura), en el otro. Se espera que las plantas eléctricas solares no produzcan los niveles de contaminación térmica asociados a las plantas termoeléctricas

tradicionales (para una instalación solar el incremento termal local se espera sea de 0.25 MW(t)/MW(e) frente a 2.1 y 1.7 MW(t)/MW(e) para un reactor nuclear de agua liviana y una planta a carbón o petróleo, respectivamente.g/

Otro efecto señalado r/ es el de provocar modificaciones en el microclima por cuanto la radiación no es absorbida por el suelo, con lo que se alteran la temperatura de la superficie y del aire, la velocidad de los vientos, etc.

7. Hidroelectricidad

Son muchas las consecuencias ambientales provocadas por obras hidroeléctricas: hay que considerar todos los posibles efectos físicos, biológicos y socioeconómicos derivados de la implantación de una presa (que es la obra principal). Entre ellos pueden citarse la acumulación de sedimentos dentro del embalse, con la consiguiente alteración de la cantidad de sustancias nutrientes aguas abajo, las modificaciones del ciclo hidrológico, los trastornos en la vida vegetal y animal, el desplazamiento de comunidades humanas desde las zonas inundadas, el aumento del riesgo sísmico, etc. Sin desconocer la importancia que puede tener en determinadas situaciones este tipo de impactos potenciales sobre el ambiente, el más significativo parece ser el del uso del espacio.

Sobre la base de información contenida en el estudio ya citado del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, se han calculado las necesidades de espacio (superficie de terreno por unidad de potencia instalada). El promedio para un conjunto de grandes centrales, tales como Krasnoyarsk (Unión Soviética) de 6 096 MW, Churchill (Canadá) de 5 225 MW, Asuán (Egipto) de 2 100 MW, Kainji (Nigeria) de 320 MW, es de 1 360 m²/kW(e).

Con un factor de carga de 75%, equivalente térmico de la hidroelectricidad de 2 500 kcal/kWh, y prorrateando la superficie en treinta años de vida útil (criterios idénticos a los adoptados para calcular necesidades de espacio de otros tipos de centrales) se obtienen aproximadamente 30 000 m²/ktpe.

Otros autores, t/ al comparar entre centrales solares e hidráulicas lo que denominan productividad del espacio, indican para estas últimas el valor 0,0675 MWh(e) año/m² (que es equivalente a unos 60 000 m²/ktpe) para el promedio de centrales de Embalse en Francia. Cabe anotar, sin embargo, que esta cifra incluye tanto los embalses artificiales como los lagos naturales que alimentan obras hidroeléctricas.

Notas al anexo 4

a/ Las plantas de gasificación y licuefacción generarán a su vez otros problemas ambientales.

b/ UNDP-UNEP-OLADE, Energy Alternatives in Latin America. Study of Capabilities for the Use of Non-Conventional Energy Sources, Quito, 1979.

c/ UNEP, The Environmental Impacts of Production and Use of Energy, Part II, Nuclear Energy, Nairobi, 1979.

d/ R.G. Ridker y W.D. Watson, To Choose a Future. Resource and Environmental Consequences of Alternative Growth Paths, publicado para Resources for the Future por Johns Hopkins University Press, Baltimore, 1980.

e/ Nuclear Regulatory Commission, Reactor Safety Study: An Assessment of Accident Risks in US Commercial Nuclear Power Plants, 1975.

f/ Nuclear Energy Policy Study Group, Nuclear Power: Issues and Choices, Ballinger Press, 1977.

g/ UNDP-UNEP-OLADE, Energy Alternatives ..., op.cit.

h/ H. Landsberg, et al, Energy: The Next Twenty Years, Ballinger, Cambridge, Massachusetts, 1979.

i/ 1 Ci (Curie) es el equivalente radioactivo de 1 g de radium.

j/ Cifras obtenidas de un gráfico en D. Meadows et al, The Limits to Growth, 1972.

k/ UNEP, The Environmental Impacts of ..., op. cit.

l/ LWR: reactores que utilizan como combustible uranio enriquecido y agua liviana como refrigerante y moderador.

m/ UNEP, The Environmental Impacts ..., op. cit.

n/ UNEP, Energy Alternatives ..., op. cit.

o/ Ibid.

p/ El término "calidad de la energía" se encuentra aquí referido al nivel de temperatura necesaria.

q/ UNEP, The Environmental Impacts ..., op. cit.

r/ Ibid.

s/ Ibid.

t/ M. Claverie y C. Eteviand, "Les aspects économiques des centrales solaires à tour", en Révue de l'Énergie, N° 313, marzo 1979.

كيفية الحصول على منشورات الأمم المتحدة

يمكن الحصول على منشورات الأمم المتحدة من المكتبات ودور التوزيع في جميع أنحاء العالم. استلم منها من المكتبة التي تتعامل معها أو اكتب إلى: الأمم المتحدة، قسم البيع في نيويورك أو في جنيف.

如何购取联合国出版物

联合国出版物在全世界各地的书店和经售处均有发售。请向书店询问或写信到纽约或日内瓦的联合国销售组。

HOW TO OBTAIN UNITED NATIONS PUBLICATIONS

United Nations publications may be obtained from bookstores and distributors throughout the world. Consult your bookstore or write to: United Nations, Sales Section, New York or Geneva.

COMMENT SE PROCURER LES PUBLICATIONS DES NATIONS UNIES

Les publications des Nations Unies sont en vente dans les librairies et les agences dépositaires du monde entier. Informez-vous auprès de votre libraire ou adressez-vous à: Nations Unies, Section des ventes, New York ou Genève.

КАК ПОЛУЧИТЬ ИЗДАНИЯ ОРГАНИЗАЦИИ ОБЪЕДИНЕННЫХ НАЦИЙ

Издания Организации Объединенных Наций можно купить в книжных магазинах и агентствах во всех районах мира. Наводите справки об изданиях в вашем книжном магазине или пишите по адресу: Организация Объединенных Наций, Секция по продаже изданий, Нью-Йорк или Женева.

COMO CONSEGUIR PUBLICACIONES DE LAS NACIONES UNIDAS

Las publicaciones de las Naciones Unidas están en venta en librerías y casas distribuidoras en todas partes del mundo. Consulte a su librero o diríjase a: Naciones Unidas, Sección de Ventas, Nueva York o Ginebra.

Publications of the Economic Commission for Latin America can be ordered from your local distributor or directly through:

United Nations Publications
Sales Section, A-3315
New York, NY 10017, USA

United Nations Publications
Sales Section
Palais des Nations
1211 Geneva 10, Switzerland

Distribution Unit
CEPAL - Casilla 179-D
Santiago, Chile

Primera edición

Impreso en Naciones Unidas — Santiago de Chile — 83-7-1178 — agosto de 1983 — 1 870

S.83.II.G.24 - 00800P