INT-0280

Distr.
INTERNA

E/CEPAL/IN.10
5 de noviembre de 1981

ORIGINAL: ESPAÑOL

C E P A L

Comisión Económica para América Latina

ESTILOS ALTERNATIVOS DE DESARROLLO, ENERGIA Y MEDIO AMBIENTE; UN ESTUDIO DE CASO EXPLORATORIO

Sergio Alvarado
Osvaldo Sunkel

Los autores son, respectivamente, Consultor y Coordinador de la Unidad de Desarrollo y Medio Ambiente de CEPAL. Las opiniones vertidas en el estudio son de su exclusiva responsabilidad y pueden no coincidir con las de la Organización a que pertenecen. Este documento tiene calidad de borrador, sólo para críticas y comentarios.

81-8-1893

INDICE

/Capítulo I

Capítulo I

INTRODUCCION, RESUMEN Y CONCLUSIONES

1. Objetivos y alcance del estudio

Desde la llamada crisis del petróleo (octubre de 1973) se ha advertido una preocupación sin precedentes por el problema de la energía. Este problema tiene varias y complejas dimensiones, pero se puede reducir en último término a tres hechos fundamentales: el primero, la creciente conciencia de la incompatibilidad que existe entre una demanda que ha crecido rápidamente de acuerdo con la intensidad y tipo de desarrollo prevaleciente en las últimas décadas, frente a recursos convencionales limitados en inexorable proceso de extinción y encarecimiento; el segundo, la determinación de los países exportadores de hidrocarburos de conservar su principal y más valioso recurso natural, con la consiguiente elevación de sus precios; el tercero, la masiva y crítica dependencia de casi todos los países industrializados y de muchos en vías de industrialización de abastecimientos de petróleo provenientes de un reducido número de países exportadores localizados en un área geopolítica 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, hoy dominada por el petróleo.

En ocasiones anteriores la humanidad ha debido transitar por un cambio de su base energética: leña a carbón y carbón a petróleo. En la medida en que se pasaba en esos casos a sustitutos más baratos y eficientes, el funcionamiento automático de las fuerzas del mercado favorecía y facilitaba dicha transición. Pero actualmente el costo de las fuentes alternativas de energía es significativamente mayor que el de los hidrocarburos, no obstante el enorme aumento de precios de estos últimos. Por otra parte, es indudable que si a las favorables cualidades del petróleo como combustible se agregan las ventajosas condiciones de un abastecimiento seguro y a costos decrecientes en términos reales, este recurso necesariamente tiene que haber contribuido al proceso de industrialización y de sostenido crecimiento económico de los países que pudieron aprovechar tales condiciones, y a la forma y características de ese proceso. Con mucha razón se señala entonces que la crisis de la energía ha afectado a la humanidad de manera

/muy poco

muy poco homogénea.1/ Los países en desarrollo se verán obligados, durante su futuro proceso de desarrollo económico y modernización, a pagar por la energía precios más elevados que los pagados en el pasado, y que los que tuvieron que sufragar los países industrializados durante el gran auge que experimentaron en las décadas de postguerra.

Aún más, los países en desarrollo presentan un mayor coeficiente de elasticidad energía-producto 2/ que los países desarrollados.3/ Ello se debe a que estos últimos completaron su infraestructura urbano-industrial moderna con un estilo de desarrollo caracterizado por ser muy intensivo en el uso de capital, recursos naturales e hidrocarburos, en lógica respuesta al bajo costo real de la energía antes de 1973, mientras que los subdesarrollados están en plena fase de construcción de su infraestructura urbano-industrial moderna, imitando 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, reproduciendo el estilo urbano-industrial de los desarrollados, tendrían que disponer de fuentes alternativas de energía de similares características y costos que los hidrocarburos antes de 1973 y del financiamiento de las inversiones correspondientes.

Sin embargo, existe amplio consenso de que las perspectivas de ampliar sustancialmente la oferta de fuentes alternativas de energía no son muy alentadoras, al menos en el corto y mediano plazo.4/ Por lo demás, es muy difícil cambiar radicalmente la estructura de la oferta energética en condiciones en que la

---

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

4/ Véase por ejemplo: Secretariat for Future Studies, Sweden, Energy in Transition; A Report on Energy Policy and Future Options, 1977; y UN, Consultative Committee on Substantive Matters, Energy Issues in a long-term Development Perspective, New York, octubre, 1980.

/demanda global

demanda global y en especial la de petróleo crece muy rápidamente; para ello las fuentes alternativas tendrían que crecer a tasas varias veces mayores que la del petróleo. Por consiguiente, el mundo tendrá que seguir abasteciéndose de energía derivada de los hidrocarburos, especialmente en lo que atañe a combustibles, por varias décadas más. Y esto significa, si es que la demanda de petróleo sigue creciendo, precios reales futuros en progresivo aumento, tanto en virtud de los esfuerzos de conservación de los exportadores como de los crecientes costos de extracción, procesamiento, transporte, etc., de las reservas adicionales de hidrocarburos.

Las reducciones en el consumo de petróleo que han tenido lugar en especial después de las fuertes alzas reales de 1973 y 1979 han hecho abrigar esperanzas de que el aumento de los precios relativos induzca una sustitución y conservación de petróleo suficiente para evitar que su demanda siga creciendo en términos absolutos. Sin embargo, hay limitaciones estructurales al efecto de los precios, una vez realizados los ahorros más fáciles y obvios.

La reducción de la utilización de petróleo por unidad de producto bruto depende de un amplio espectro de acciones de naturaleza muy diferente que va desde la simple eliminación de desperdicios e ineficiencias hasta cambios en el actual acervo de capital, de tecnología petróleo-intensiva, para modificarlo o reemplazarlo. Pero en todo caso, cualquier acción destinada a ahorrar petróleo por unidad de producto implica una inversión, desde un mínimo representado por el tiempo y esfuerzo marginal empleado en apagar luces encendidas innecesariamente hasta el reemplazo de equipos de tecnología petróleo-intensiva por otros que utilicen carbón, hidroelectricidad, u otra fuente.

La fuerte elevación de los precios del petróleo inducirá sin duda acciones para ahorrar en el uso de petróleo y para sustituirlo por otras fuentes. Sin embargo, la eficacia del mecanismo de ajuste por el funcionamiento automático del mercado podría tener limitaciones bastante serias por las siguientes razones, entre otras:

a) la incidencia del costo de la energía en la estructura de costos de la mayoría de las actividades es relativamente baja;

b) el petróleo es un precio líder, al que tienden a ajustarse con bastante proximidad los precios 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

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 las incidencias en el costo sea elevada y/o el sustituto es relativamente muy barato (uso de desperdicios, por ejemplo);

d) si las estructuras de mercado son mono u oligopólicas, y/o la demanda es inelástica, el aumento de costos tenderá a trasladarse al consumidor;

e) cuando hay discontinuidades en la oferta sustituta, como por ejemplo entre bienes privados y públicos (reemplazo del automóvil privado por un sistema de transporte masivo);

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.

Por otra parte, el menor consumo de petróleo es también la consecuencia, en medida significativa, de las menores tasas de expansión económicas de los últimos años. De modo que la reanudación de ritmos de crecimiento económico más rápido podrían estimular mayores demandas de hidrocarburos, y con ello nuevas alzas de precios. De hecho hay relativo consenso de que los precios reales del petróleo crecerán del orden del 3% anual en promedio durante las próximas décadas.1/

Ante la probable persistencia y aun agudización de las condiciones prevalecientes en los últimos años en materia de petróleo y energía, pareciera conveniente y oportuno plantearse algunas interrogantes como las siguientes:

¿Pueden los países en desarrollo reproducir el estilo de desarrollo de los países industrializados, en un futuro caracterizado por energía cara y creciente escasez de hidrocarburos -y aun si pudieran, 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?

1/ Véase entre otros, Naciones Unidas, op. cit.

/¿Es posible

¿Es posible concebir estilos alternativos de desarrollo que requieran menos energía en términos absolutos, o que requiriendo la misma o mayor cantidad de energía, se puedan sustentar en una base energética más diversificada y menos dependiente de los hidrocarburos?1/

En definitiva convendría ampliar el debate y las investigaciones en torno al problema de la energía, hasta ahora centrado en la oferta de fuentes alternativas de energía, hacia la demanda. O sea, a la exploración de estilos de desarrollo más moderados en sus requerimientos energéticos, en general, y del petróleo, en particular.2/

El presente estudio no pretende, por cierto, dar respuestas definitivas a estas y otras interrogantes similares. Su propósito más limitado es examinar el problema de la energía bajo la óptica del estilo de desarrollo y del impacto de las alternativas energéticas sobre el medio ambiente en el contexto latinoamericano y 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 otros aspectos que los normalmente considerados y que existen varias preguntas que cabe formular y que hasta ahora no han merecido la debida atención.

El alcance del estudio es necesariamente muy limitado, 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.3/ En

---

1/ 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 podría ser 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 1 unidad, habida cuenta de las pérdidas de transmisión y distribución; todavía, la energía útil será aún menor, ya que el artefacto normalmente no opera con 100% de eficiencia.

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

3/ 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 II 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.

/cuanto a

cuanto a lo segundo, se consideraron los antecedentes energéticos de sólo cuatro países industrializados y el caso estudiado se refiere a 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 como perfiles adecuados para la argumentación central y por tanto no deben ser tomadas como proyecciones de demanda y oferta de energía y de crecimiento económico o demográfico.

2. Marco conceptual

El presente trabajo se inserta dentro del marco conceptual de un conjunto de estudios sobre estilos de desarrollo y medio ambiente.1/ La hipótesis central que orienta estos trabajos es la siguiente. 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.2/ Pero todo proceso de transformación deliberada de materia requiere de energía, de técnicas y de una organización social, razón por la cual 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

1/ Véase Revista de la CEPAL, Nº 12, diciembre 1980; O. Sunkel y N. Gligo, Estilos de Desarrollo y Medio Ambiente en América Latina, Serie Lecturas Nº 36, Fondo de Cultura Económica, México 1981 (2 vol.); N. Gligo, Estilos de Desarrollo, Modernización y Medio Ambiente en la Agricultura Latinoamericana. (E/CEPAL/G.1117, junio, 1981) y O. Sunkel, op. cit.

2/ 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.

/uso del

uso del fierro y del acero, y simbolizada por el ferrocarril tal vez más que por cualquier otro adelanto tecnológico. 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, entrándose en una era de abastecimientos limitados, caros e inseguros. La crisis del petróleo es en realidad la crisis del estilo de desarrollo contemporáneo en uno de sus pilares básicos: su fuente energética fundamental.

Por otra parte, la evolución histórica del capitalismo en los países industriales estuvo muy influida por 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 ahorradora 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

fuente energética barata facilitó el desarrollo de un sistema de transporte muy diferente del europeo, particularmente desde los años cincuenta: 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 acompañado del desarrollo de la gran empresa de tipo monopólico u oligopólico y de dimensiones continentales, con sus características de organizaciones esencialmente burocráticas y tecnocráticas con gran capacidad expansiva y de innovación.

Lo anterior debería ser suficiente para mostrar que si bien en cada caso se trata del desarrollo del capitalismo en su fase de expansión industrial, no es menos cierto que dicho proceso adoptó en los diversos casos estilos o modalidades diferentes de organización económica, estructura social, orientación de la técnica y más concretamente, de organización de la industria, la agricultura, el transporte, de formas arquitectónicas y de la construcción.

No obstante lo anterior, 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 complementado con iniciativas amplísimas en los campos militar, cultural, 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, con relación al propio Estados Unidos. De este modo se ha ido produciendo una simbiosis y homogeneización del estilo de desarrollo contemporáneo 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

Dicho estilo se destaca por la utilización generalizada del petróleo como fuente energética, desplazado a otras fuentes; el crecimiento relativamente más rápido de las industrias más estrechamente asociadas a esta fuente de energía, como la petroquímica, automotriz, de medios de comunicación y de artefactos electrodomésticos; el aumento en la densidad de capital por hombre empleado, y en el tamaño y concentración geográfica de la actividad económica; en general, 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, 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 no obstante 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

Estados Unidos aparece en todos ellos con los nivele 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 un requisito necesario alcanzar los elevados niveles de consumo de energía que caracterizan a los Estados Unidos. Dicho objetivo puede alcanzarse con niveles de intensidad de consumo energético entre un 30 y 50% menor, 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 indican con claridad que se podría lograr ahorros sustanciales si se siguieran estrategias que asimilaran algunas de las características de esos países. Sugieren además que existe una gran potencialidad aún desaprovechada para lograr los objetivos del desarrollo con perfiles bastante más moderados de consumo de energía en general, y de petróleo en particular, con el consiguiente ahorro en las gigantescas inversiones que habría que hacer en el sector energía si no se lograra moderar su consumo.1/

Al marco conceptual de orden general y abstracto antes reseñado conviene agregar 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 un producto:

Consumo = intensidad x nivel de actividad.2/

1/ Véase al respecto Inter-American Development Bank, Energy Investments and Financing Requirements in Latin America in the 1980's, (mimeo); World Bank, Energy Options and Policy Issues in Developing Countries, World Bank Staff Working Paper N° 350, agosto, 1979.

2/ Robert H. Socolow: "The coming age of conservation", en Ann. Rev. 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 1 tonelada a lo largo de 1 kilómetro; el "nivel de actividad" representa el total de carga transportada por ferrocarril durante 1 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.

/Los estudios

Los estudios clásicos de demanda 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 apropiado especialmente para el presente ejercicio, en que se explora principalmente los posibles efectos de cambios en el nivel (y tipos) de actividad.

3. Diseño metodológico

El diseño metodológico deriva de los objetivos del estudio, teniendo presente las limitaciones de su alcance. Como hipótesis básica se admite que el estilo de desarrollo "ascendente" (y que tiende a transformarse en "dominante") implica un intento por 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 y la forma en que ellos han evolucionado. Para tal efecto, como se indica en la sección anterior, se analizan y comparan países industrializados representativos de tres continentes: Estados Unidos, Francia, Suecia y Japón (Capítulo II), 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.

El segundo paso metodológico es el más relevante para los fines del estudio. Se trata de 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 los dos escenarios -A y B- correspondientes a posibles estilos alternativos de desarrollo. Todo ello referido a un país de América Latina -Chile- que se utiliza como ejemplo o caso ilustrativo del ejercicio.1/

1/ Razones de tiempo y de disponibilidad de información impusieron esta restricción. Hubiera resultado deseable examinar a lo menos tres países latinoamericanos: uno de mayor desarrollo relativo, uno en situación intermedia y otro de menor desarrollo.

/Respecto del

Respecto del escenario de referencia, se supone que él puede construirse utilizando, principal aunque no exclusivamente, las tendencias históricas. Esto último obedece a que si simplemente se extrapolan las tendencias históricas, se llegaría a situaciones inaceptables, como por ejemplo, una elevada contribución porcentual de los hidrocarburos al abastecimiento total de energía primaria. En otras palabras, debe incorporarse una estimación del efecto de los cambios en los precios de petróleo.

Para establecer globalmente los requerimientos de energía en este escenario se utiliza el coeficiente elasticidad-producto, postulando que en el período considerado el PGB crece a una tasa media del 6% 1/ 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, no obstante las dificultades para que ello ocurra, antes enumeradas.

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. 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 2/ salvo en el caso de la agricultura, cuya incidencia es muy pequeña (del orden del 3%).

1/ Se ha elegido una tasa de aumento del PGB relativamente elevada, ya que el estudio postula un objetivo de crecimiento económico alto y sostenido. Por otra parte, un crecimiento bajo o nulo conduciría a un resultado trivial desde el punto de vista energético.

2/ 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 estrategia y políticas.

/Respecto de

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

Por lo que se refiere a los dos escenarios alternativos, el primero (A) se construye suponiendo alteraciones poco significativas del estilo de desarrollo vigente, por lo cual el énfasis está en el ahorro de energía, o sea, en 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, o sea, el acento se pone en los niveles de actividad.

Ambos escenarios alternativos se establecen a partir del escenario de referencia, es decir, con las mismas hipóteis 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 y que por lo mismo no estarán comercialmente disponibles todavía por mucho tiempo (por ejemplo: combustibles líquidos sintéticos). Un tercer elemento común se refiere a la indiferencia frente a los precios de los combustibles, pues ya se supuso una fuerte reducción del coeficiente de elasticidad en respuesta al aumento de los precios. Las sustituciones de hidrocarburos por carbón, leña y energía solar no se plantean en razón de precios relativos, sino en función de consideraciones de una menor dependencia externa de un recurso escaso en el país, es decir, de evitar una incidencia exagerada de las importaciones de petróleo en la balanza de pagos, y de consideraciones ambientales. Por lo demás, cabe suponer que en el largo plazo, como ya se aprecia actualmente, los precios de los combustibles tienden a uniformarse, aun cuando el petróleo sigue siendo combustible líder por sus ventajas físicas (poder calorífico, facilidad de transporte, almacenamiento y uso).

/Los supuestos

Los supuestos particulares 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 que el transporte caminero gana importancia y que el ferrocarril la pierde respecto de la situación actual);

b) residencial-comercial: logro de un 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%, adicionalmente a 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, desde un valor estimado actual de 0,030 tpe/hab/año a 0,100 tpe/hab/año (en 1972 Estados Unidos tenía 0,139 tpe/hab/año).

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

Los supuestos particulares 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 automotriz por alcohol y de hidrocarburos en general por electricidad (ferrocarril y transporte colectivo urbano);

b) residencial-comercial: mayor cobertura de electrificación rural y por tanto uso más generalizado de electricidad (en valor absoluto, 5% más que en el escenario de referencia); mayor aumento en el consumo de energía por habitante de la población rural y de los sectores urbanos de bajos ingresos que el promedio del subsector residencial; fuerte penetración de las fuentes no convencionales (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 poco intensivas en energía; mayor contribución de la electricidad (30% del sector vs 22% en escenario de referencia) causada por industrias de alta tecnología; participación de fuentes no convencionales (solar) en el abatecimiento;

/d) agricultura:

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 impactos ambientales de las alternativas energéticas. La dimensión ambiental se introduce mediante la cuantificación, basada en información disponible, de los siguientes impactos: uso del espacio (m^2/ktpe);1/ 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 impactos ambientales derivados de los cambios en el nivel y composición de la oferta.

En cuanto a los futuros requerimientos de energía del país que se escogió para ilustrar el presente estudio, se puede señalar lo siguiente, a la luz de las cifras de los cuadros I-1, I-2, y I-3, que resumen los resultados de este ejercicio:

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

1/ Ktpe = mil toneladas de petróleo equivalente = $44 \cdot 10^{12}$ Joule. En este documento se emplea la ktpe como unidad común para todas las formas de energía primaria y secundaria.

/b) en

b) en dicho escenario los hidrocarburos representarían casi un 60% del total, no obstante un fuerte cambio de la tendencia histórica, que entre 1960 y 1978 elevó dicha contribución desde un 30% al 58%;

c) en términos absolutos, el país estaría en el año 2010 requiriendo 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;

d) en términos agregados se observa una disminución de la demanda de energía en los escenarios alternativos A y B 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;

e) 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;

f) 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 poco intensivas en energía;

g) 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;

h) 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%); este aumento se explica por la necesidad de elevar los insumos energéticos de la producción agropecuaria para lograr una mayor disponibilidad de alimentos;

i) 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 hidooeléctrica.

/Cuadro I-1

Cuadro I-1

DEMANDA 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 deriv.	527	2 886	2 597	2 500
-Leña y res. veget.	450	1 254	2 032	1 500
-F.N.C.	-	-	-	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 deriv.	70	6	20	-
-Leña y res. veget.	-	-	-	-
-F.N.C. (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 deriv.	105	92	72	120
-Leña y res. veget. (tradic.)	915	920	870	1 680
-F.N.C. (E. 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 deriv.	-	-	-	-
-Leña y res. veget.	23	14	9	9
-F.N.C.	-	-	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 deriv.	65	278	249	243
-Leña y res. veget.	-	-	-	-
-F.N.C.a/	-	-	-	-
-Electricidad	96	476	434	473
-Hidroelectricidad (pérdidas ficticias)	941	5 882 b/	5 187 c/	6 235 b/
Totales	9 493	41 815	35 510	33 929

a/ No se consideran consumos energéticos convencionales (despreciables) en la obtención de energía no convencional. Los consumos de F.N.C. en la obtención de F.N.C se incluyen en los sectores.

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

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

/Cuadro I-2

Cuadro I-2

DISTRIBUCION SEGUN ENERGETICOS

Energéticos	Situación actual 1978 ktpe	%	Escenario (2010) Referencia ktpe a/	%	Alternativa A ktpe a/	%	Alternativa B ktpe a/	%
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 res. vegetales	1 272	13.4	2 318	5.6	3 030	8.5	3 502	10.3
F.N.C. b/	-	-	-	-	381	1.1	3 114	9.2
Hidro-electricidad c/	1 775	18.7	9 700	23.2	8 682	24.4	10 502	31.0
Total	9 493	100.0	41 815	100.0	35 510	100.0	33 929	100.0

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
F.N.C	-	-	27
Total	1 300	1 1191	1 363

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 todss las centrales eléctricas a la hidro-electricidad, aproximación aceptable ya que al año 2010 cerca del 90% de la electricidad sería de origen hidráulico.

/Cuadro I-3

Cuadro I-3

DEMANDA POR SECTORES

(Porcentajes)

Sector	Situación actual 1978	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 transformación	20.0	19.6	20.0	23.1
Total	100.0	100.0	100.0	100.0

/Respecto del

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

a) 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;

b) un aumento de la participación de la leña y residuos vegetales en los escenarios A y B con respecto al de referencia de 9 y 10% vs. 6% respectivamente; sin embargo, esos porcentajes de contribución al abastecimiento son todos inferiores al actual, que es del orden del 13%;

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

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

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

f) una diversificación de fuentes relativamente más equilibradas 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 convencionales.

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

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

b) residencial-comercial: una notable baja en la contribución de los hidrocarburos, un 32% frente al 70% del escenario de referencia, y una alta participación de las fuentes no convencionales (23%) y de la leña y residuos vegetales (21%);

c) industria: la menor dependencia de los hidrocarburos (baja del 45 al 25%) y la 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;

d) energía: la única diferencia importante reside en la hidroelectricidad por el hecho de habérsele asignado pérdidas ficticias.

/En lo

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

a) Fuentes renovables

La energía hidromecánica aparece en el escenario B aportando 10 500 ktpe/año en 2010 (cuadro I-2). Como la hidroelectricidad se ha valorado a través del coeficiente de conversión 1 kWh = 2 500 kcal, la cifra anterior equivale a 6 800 MW,1/ 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 convencional (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).2/ De modo que la biomasa requerida en el escenario B y también en los demás escenarios deberá provenir, sea de un aumento de la masa forestal,3/ sea de la agricultura y residuos urbanos.4/

Respecto de la energía solar, los requerimientos mayores 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, estimados en 230 000 ktpe/año.5/

1/ Se ha utilizado la equivalencia 1 000 MW (e) año = 1 535 ktpe (véase capítulo IV, párrafo 2.1).

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

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

4/ 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 (World Bank: "Prospects for Traditional and Non-Conventional Energy Sources in Developing Countries", julio 1979).

5/ S. Alvarado y R. Schmidt, "La Energía Solar en el Balance Energético Nacional", XV Convención de UPADI, Santiago, Chile, 1978.

/b) Fuentes

b) 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 examinarán sólo estas últimas.

Los hidrocarburos deberían aportar 13 061 ktpe/año (cuadro I-2) cantidad muy superior a la producción anual de los últimos 20 años.1/ Por consiguiente, el país continuaría dependiendo del petróleo importado, a menos que las prospecciones sean muy exitosas.

El carbón (y derivados) aparece con una contribución de 3 750 ktpe/año (cuadro I-2). En el pasado (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,2/ en tanto que las reservas de carbones sub-bituminosos en el extremo sur (Magallanes) pueden exceder los 2 500 000 ktpe.

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

a) Uso de espacio

Considerando, por una parte, las cifras del cuadro I-2 y por otra, las cifras del cuadro IV-1 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, debería disponerse de 1.5 millones de hectáreas de bosques energéticos. De acuerdo a cifras publicadas por la Comisión Nacional de Energía 3/ 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

---

1/ Ningún año ha excedido los 6 000 ktpe (incluyendo gas natural).
2/ J. Pedrals, "Energía 1979-1990", Fundación BHC, 1979.
3/ Comisión Nacional de Energía: "Potencial energético de los recursos forestales", op. cit.

/existirían suelos

existirían suelos de aptitud forestal suficientes para cubrir los requerimientos de biomasa energética. Sin embargo, debe considerarse la posibilidad de usos competitivos con la industria forestal no energética y con la ganadería.

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 el mayor impacto potencial desde el punto de vista de las emisiones de gases y líquidos (64 y 22% mayor 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, del orden del 40% del total.

En cuanto a las emisiones sólidas, la situación se invierte: el escenario de referencia muestra la menor cantidad y el escenario B la mayor (en un 38% respecto del primero). La explicación es obvia: de los combustibles considerados, hidrocarburos, carbón y biomasa sólida, este último produce la mayor cantidad de desechos sólidos (véase capítulo IV. Anexo III) y es precisamente el escenario B en que los combustibles vegetales tienen la más alta contribución.

c) 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 m^3/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.

5. Consideraciones finales

El propósito del presente ensayo exploratorio ha sido bien limitado: examinar en el caso de un país concreto la posibilidad de moderar el consumo de energía en general, y de hidrocarburos en especial, más allá de las tendencias en ese sentido que resulten automáticamente de la elevación de los precios de los hidrocarburos, y la energía en general. La respuesta que se obtiene en este ejercicio es que mediante ciertos cambios del estilo de desarrollo, podría ser 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

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 de todo tipo, 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 y/o en otros que permitieran aumentar las exportaciones para financiar las importaciones faltantes de hidrocarburos. Suponiendo que el costo de inversión de producir el petróleo crudo nacional y las importaciones complementarias fuera del orden de 12 000 dólares por barril/día,1/ 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 extremadamente 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, y también porque no se consideran las inversiones complementarias de refinación, transporte, distribución, almacenaje, etc.

Este considerable ahorro en programas de inversión para el desarrollo de los hidrocarburos tiene varias implicaciones. La primera es que permitiría financiar con creces la expansión de las fuentes de energía no convencionales y la ampliación del uso de la leña y los residuos vegetales, y con ello lograr de paso una estructura de oferta mucho más diversificada y equilibrada (véase cuadro I-2). Además, como no hay grandes variaciones en la oferta carbonífera ni en la hidroeléctrica entre el escenario de referencia y el B, y el aumento de las fuentes no convencionales y la leña requeriría sólo una fracción de las inversiones ahorradas en el sector hidrocarburos, la menor inversión restante tiene aún otras repercusiones interesantes.

La estrategia de 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, significa que se requieren mucho menores inversiones en el sector

---

1/ Banco Interamericano de Desarrollo, "Energy Investments ...", op. cit.

/petróleo. Esto

petróleo. Esto permite por una parte, como se acaba de señalar, diversificar la oferta energética, y por la otra, realizar inversiones 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 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. Pero no por ello deja de ser cierto que esta estrategia de perfil energético moderado generaría posiblemente en medida importante sus propios recursos de inversión en contraste con el escenario de referencia.

En otras palabras, en lugar de plantearse un conflicto y una opción entre aumentar mucho las inversiones energéticas a fin de sostener la tasa de crecimiento, a costa de sacrificar 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 mejoramientos de sus consumos energéticos excesivamente bajos, pero mediante el empleo de tecnologías, diseños, formas de organización social, del tiempo y del espacio, y de aprovechamiento de recursos locales, que cumplan además con el doble criterio de ahorrar energía en general y petróleo en especial.

Es muy probable, además, que estas inversiones tengan otra serie de consecuencias favorables desde el punto de vista del desarrollo. Desde luego, incidirán directamente en un alivio de la Balanza de Pagos al moderar o incluso reducir las necesidades de importación de petróleo. Por otra parte, es probable que sean también más intensivas en la utilización de 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 estrategias de desarrollo, así como los programas de inversión y las políticas correspondientes, 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 requieren de inversiones de gran envergadura y largos plazos de maduración.

/Capítulo II

Capítulo II

LA ENERGIA EN LOS PAISES INDUSTRIALIZADOS

1. Situación en 1972

1.1 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.

Es un hecho suficientemente conocido que existe una elevada correlación entre el Producto Geográfico Bruto de un país y sus necesidades energéticas. Los países industrializados se caracterizan, en consecuencia, por un elevado consumo de energía, ya sea que éste se mida por habitante o por unidad de PGB. Sin embargo, es un hecho menos conocido, pero muy significativo, que dichos países, aun aquellos de características más homogéneas, muestran fuertes diferencias entre sí en los indicadores antes mencionados. 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 ha motivado algunos estudios, efectuados principalmente a fines de la década del 70, destinados a analizar este fenómeno y a esclarecer sus causas. Como se comprenderá, esto tiene la mayor importancia desde el punto de vista de las estrategias de desarrollo de los países en vías de desarrollo, pues sugiere que éstos podrían alcanzar los mayores niveles de vida a que aspiran con perfiles de consumo energético más moderados que los que caracterizan a la sociedad norteamericana, con el consiguiente ahorro en materia de inversiones.

No siendo posible 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, en el interés de incluir Suecia, país que reúne características de especial relevancia para el análisis y que se pondrán en evidencia más adelante.

/1.2 Comparaciones

1.2 Comparaciones globales

Las comparaciones globales se efectúan normalmente a través de un indicador físico (consumo de energía por habitante) o a través de un indicador físico-económico (consumo de energía/unidad de PGB). El uso de tales indicadores tiene asociado algunos problemas de medición de sus componentes, en particular, de la energía y del PGB.1/

Los valores numéricos de los indicadores de consumo de energía por habitante y por unidad de producto se han extraído mayoritariamente de un estudio comparativo que incluye nueve países industrializados: Estados Unidos, Canadá, Francia, Alemania Occidental, Italia, Holanda, Reino Unido, Suecia y Japón.2/ Dicho estudio analiza la situación correspondiente al año 1972. Se adoptó este año por tres razones básicas: la existencia de suficiente información detallada, por tratarse de un año de alta actividad económica y anterior al abrupto incremento del precio del

1/ 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 es 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%).

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 ha 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.

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

/petróleo crudo.

petróleo crudo. Posteriormente se efectuará un análisis similar, aunque menos exhaustivo, para las tendencias del período 1957-1972.

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

Cuadro II-1

CONSUMO DE ENERGIA POR HABITANTE

(tpe*/hab)

Estados Unidos	8.35
Suecia	5.31
Francia	3.31
Japón	2.90

Fuente: Darmstadter et al., "How industrial societies..." op.cit.

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

Aunque este indicador no incluye obviamente todos los elementos necesarios para una comparación válida, revela ya disparidades significativas en el consumo de energía de países altamente industrializados y de similares niveles o estándares de vida. En particular, si consideramos Estados Unidos frente a Suecia, este último muestra un consumo por habitante que es el 64% del primero, con una diferencia en el PGB por habitante (también para 1972) de sólo un 11% en favor de Estados Unidos.

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

Cuadro II-2

CONSUMO DE ENERGIA/PGB

(tpe/10^6 dólares)

Estados Unidos	1 480
Suecia	1 062
Japón	849
Francia	795

Fuente: Darmstadter et al., "How industrial societies...", op.cit.

/Este indicador

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

1.3 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 y la energía y el PGB se han valorizado en unidades físicas y monetarias, respectivamente, tal como se explicó antes.

Cuadro II-3

CONSUMO SECTORIAL Y TOTAL DE ENERGIA POR UNIDAD DE PGB

Consumo sectorial	Estados Unidos		Suecia		Japón		Francia	
	tpe/ 10^6US$	%	tpe/ 10^6US$	%	tpe/ 10^6US$	%	tpe/ 10^6US%	%
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 a/	374	25.3	349	32.8	164	19.3	223	28.1
-Residencial b/	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 c/	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 et al., "How industrial societies...", op.cit.

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

b/ No incluye corrección por clima.

c/ Materias primas energéticas para la petroquímica.

/Cuadro II-4

Cuadro II-4

CONSUMO SECTORIAL Y TOTAL DE ENERGIA POR UNIDAD DE PGB, EXPRESADO COMO PORCENTAJE DEL DE ESTADOS UNIDOS

(Porcentaje)

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 et al. "How industrial societies ...", op. cit.

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

b/ Materias primas energéticas para la petroquímica.

En el sector Transporte aparece Estados Unidos con el más alto consumo (del orden de 3 veces 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.

Obviamente, 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 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 per cápita en transporte.

/El efecto

El efecto precio podría introducirse a través de un parámetro μ que mida el cuociente entre el precio y el PGB/cápita.

Se tienen las siguientes cifras:

Cuadro II-5

PARAMETROS RELATIVOS AL TRANSPORTE DE PASAJEROS (1972)

	λ ($10^5 \frac{km}{hab.}$) a/	ε (tpe/hab) b/	μ c/	$\frac{E \cdot \mu}{\lambda}$
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/ De Darmstadter et al. "How industrial ...", op. cit.

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

La situación de Estados Unidos frente a Francia y Japón resulta menos discrepante, pero sigue siendo muy diferente a la de Suecia, para lo cual habrá que buscar la explicación en la intensidad energética (kgpa/pasajero-kilómetro) y proporción de uso de los diferentes medios de transporte.

El medio de transporte predominante es en todos los casos el automóvil, para el cual la intensidad energética es claramente superior en Estados Unidos.1/ (Suecia: 7.47; Francia: 8.25; Japón: 8.63; EE.UU.: 10.45 tpe/10^5 pasajeros-milla.)

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, incluso mayor que Estados Unidos.

Respecto de lo primero, tratándose de países de similar desarrollo tecnológico y altamente industrializados, cabe esperar el resultado obtenido.

En cuanto a lo segundo, es preciso considerar, por una parte, la estructura industrial (tanto interna como en relación a su aporte al PGB frente a otros sectores) y por otra, la intensidad en el uso de la energía industrial (consumo

1/ Darmstadter et al.: "How industrial ...", op. cit.

/específico o

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/10^6 dólares de PGB industrial.1/

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 II 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 corregir tales cifras. Al efectuar tal corrección aparece una mayor diferencia entre los dos países. (Estados Unidos: 159; 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 II-3 por un factor que tome 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 (5 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 a los autoconsumos de las empresas productoras de energía (centros de transformación), tales como el petróleo utilizado en la refinación del petróleo, la electricidad consumida por las centrales eléctricas; incluye también pérdidas en la distribución de gas y electricidad. Estados Unidos

1/ Cifras calculadas por Darmstadter et al., obra citada, a partir de estadísticas de Naciones Unidas y OECD.

/muestra un

muestra un consumo por unidad de PGB extraordinariamente elevado: 4 veces el de Suecia y más del doble del de Francia y Japón. Ello puede explicarse porque Estados Unidos tiene un número mayor de industrias dedicadas a la extracción de energéticos y refinación de petróleo y, en el caso de Suecia, además, porque este país de generación predominantemente hidroeléctrica, tiene (según estimaciones de la OECD) menores consumos internos en las centrales que aquellos países cuya generación es mayoritariamente térmica.

El sector Pérdidas de transformación incluye las pérdidas que se producen al transformar una forma de energía en otra. El 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; pero debe tenerse presente que en el primer caso la cifra es altamente ficticia, ya que incluye fuertes pérdidas que no son físicamente reales: las de la conversión de la hidroelectricidad en su equivalente térmico.1/ En Suecia la proporción entre generación termoeléctrica e hidroeléctrica es 0.31 2/ netamente inferior a la de los otros países industrializados de comparación.

1.4 Conclusiones

Lo anterior permite adelantar algunas conclusiones, aun cuando se han considerado solamente las cifras correspondientes a 1972. El análisis se refiere a 4 países altamente industrializados y de elevado ingreso por habitante (para 1972, año de referencia, el PGB/cápita varía entre US$ 3.423, en Japón y US$ 5.648 en Estados Unidos). Además, si se utilizan indicadores económicos y sociales (salud y educación), países como Estados Unidos y Suecia se revelan con un nivel de bienestar muy similar: el Physical Quality of Life Index (PQLI) desarrollado por el Overseas Development Council resulta para Estados Unidos de 94 y para Suecia de 97 (período 1970-1975).3/ 4/

1/ 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° Ley de la Termodinámica. Véase también nota 1/ al párrafo 1.2 de este capítulo.

2/ United Nations: "World Energy Supplies 1950-1974".

3/ Schipper, L. y Lichtenberg, A.J.: "Efficient Energy Use and Well-Being. The Swedish Example", en Science: "Energy II: Use, Conversation and Supply", AAAS, editado por Philip H. Abelson y Allen L. Hamond, 1978.

4/ Morris, David: "Measuring the Condition of the World's Poor. The Physical Quality of Life Index", publicado para Overseas Development Council, Pergamon Press, 1979.

/Por otra

Por otra parte, estos países han adoptado un mismo estilo de desarrollo, el estilo "ascendente",1/ encontrándose en una fase avanzada del mismo, la sociedad urbano-industrial.

No obstante, dentro de dicho estilo de desarrollo común, las características o procesos relevantes del estilo "ascendente" presentan diferentes grados de penetración. Ello 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. Las viviendas unifamiliares y multifamiliares (departamentes) tienen porcentajes de 42 y 58% para Suecia y de 71 y 29% para Estados Unidos, respectivamente.2/ 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/10^6 dólares, según el cuadro II-3) y muy superior en el caso de Estados Unidos si se efectúa la corrección por clima (109 y 159 tpe/10^6 dólares, respectivamente).

El sector transporte también revela 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 la proporción 55/45 (porcentaje de viajes); en cambio en Estados Unidos dicha proporció es 90/10.3/ Los consumos de energía en el sector transporte (según cuadro II-3) son 327 y 121 tpe/10^6 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. Suecia utiliza también en mayor forma que Estados Unidos la cogeneraciõ (sistemas combinados calor-electricidad). Estas y otras razones podrían explicar

1/ Sunkel, Osvaldo: "La Dimensión Ambiental en los Estilos de Desarrollo de América Latina", Naciones Unidas, Comisión Económica para América Latina, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, 1981.

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

3/ Ibídem.

/la significativa

la significativa diferencia en el consumo del sector energía: 135 y 33 tpe/10^6 dólares para Estados Unidos y Suecia, respectivamente.

En el análisis no se ha incluido el parámetro precio de los combustibles y de la electricidad, que ciertamente puede contribuir a modificar la eficiencia en el uso de la energía.1/ Pero aun habiendo omitido este aspecto, es obvio que los precios no pueden explicar factores de 3 y 4 entre los consumos sectoriales por unidad de PGB.

2. Evolución en el período 1957-1972

2.1 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, o sea en una visión estática. En esta segunda parte, se efectúa una comparación dinámica respecto de los mismos países, con el objeto de disponer de la evolución temporal de indicadores como los ya utilizados u otros, que permitan visualizar o determinar algunas tendencias.

Para estos efectos se decidió recurrir a series históricas que cubran un período de 16 años (1957-1972). Aun cuando existe información como la requerida para períodos anteriores, se estimó prudente situarse en una época relativamente alejada del término de la Segunda Guerra Mundial, especialmente en consideración a los países de Europa Occidental y Asia, cuya infraestructura material quedó gravemente deteriorada como consecuencia de tal conflicto bélico.

2.2 Indicadores globales

Las principales conclusiones que se pueden extraer del cuadro anterior y de la Fig. 1 son tres:

a) Los consumos de energía primaria por habitante aumentan sin excepción durante el período en términos absolutos, con tasas medias acumulativas anuales de 2.61% (Estados Unidos), 3.55% (Francia), 4.86% (Suecia) y 8.80% (Japón);

b) Los consumos per cápita 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

1/ Véase Anexo 1 relativo a precios de energía.

/Gráfico 1

Gráfico 1

CONSUMO PER CAPITA DE ENERGIA PRIMARIA, EXPRESADO COMO FRACCION DEL DE ESTADOS UNIDOS

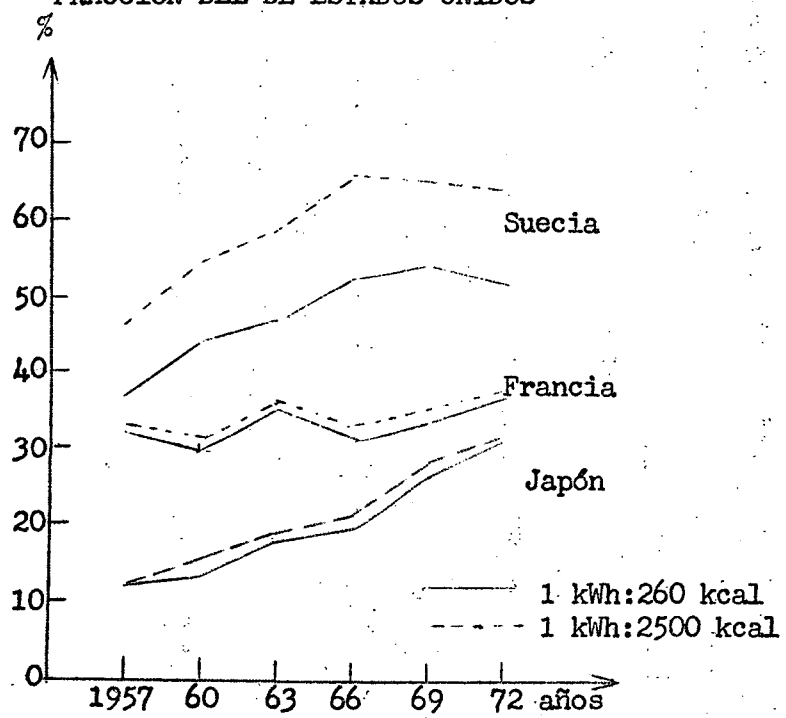
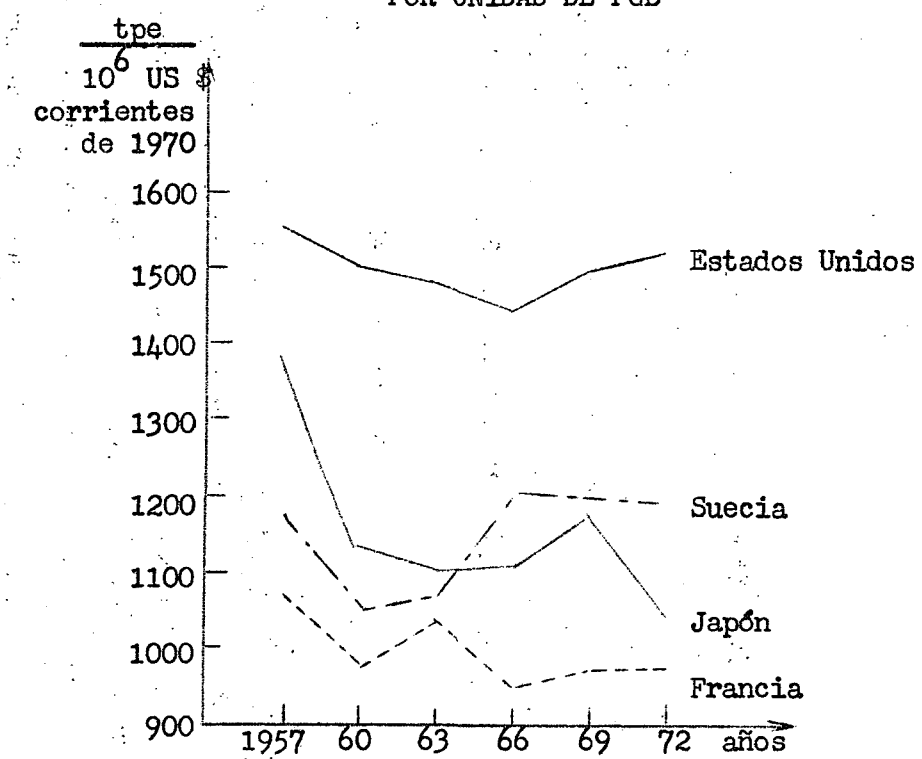


Gráfico 2

CONSUMO DE ENERGIA PRIMARIA POR UNIDAD DE PGB



/Cuadro II-6

Cuadro II-6

CONSUMO DE ENERGIA PRIMARIA COMERCIAL POR HABITANTE a/

Año	Estados Unidos	Suecia	Francia	Japón
	A: 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
	B: Porcentaje del de EE.UU.			
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 tce = 0.6542 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 kWh - 2 500 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 gráficamente en la Figura 1.

/aumento se

aumento se debe, sin duda, a que las economías de Europa Occidental y Japón crecieron más que la de Estados Unidos y a la acelerada y recesiva incorporación del estilo ascendente del petróleo intensivo en el período (la década de 1960 ha sido en este sentido sin precedentes);

c) No obstante lo anterior, las cifras absolutas y relativas se mantienen por debajo de las de Estados Unidos, manteniéndose el orden decreciente (Suecia, Francia y Japón).

Cuadro II-7

CONSUMO DE ENERGIA POR UNIDAD DE PRODUCTO a/
(tpe/10^6 US$ 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

Fuentes: Naciones Unidas: "World Energy ...", op. cit.
OECD: "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 han graficado en la Fig. 2.

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 (27%, 45% y 56% menor que la de Suecia, Japón y Francia, respectivamente, para 1972).1/

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 tiene conocimiento de al menos un estudio que señala una tasa anual de aumento del consumo de energía algo mayor que la tasa de crecimiento del PNB en el período 1965-1973, como se aprecia en el siguiente cuadro.

1/ Véase Anexo I relativo a los precios de la energía.

/Cuadro II-8

Cuadro II-8

TASAS DE CRECIMIENTO DEL PNB Y DEL CONSUMO DE ENERGIA, 1965-1973
(Tasas de aumento, % 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 Outloock", Exxon Background Series, Abril, 1978.

Otro estudio,1/ aunque también referido al PNB y no al PGB, parece confirmar parcialmente los resultados numéricos mostrados en el cuadro II-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 (cifras citadas en 2/).

Con todo, cabe tener presente que los indicadores globales, tal como el utilizado en el cuadro II-7, no permiten comparaciones totalmente válidas entre países con diferentes estructuras industriales (especialmente en lo que se refiere a industrias muy intensivas en el uso 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.3/

2.3 Evolución de la importancia relativa del carbón, hidrocarburos y electricidad

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 2.2), se expresa porcentualmente en el cuadro siguiente.

1/ Darmstadter, J.: "Energy in the World Economy", The Johns Hopkins Press, Baltimore, 1971.

2/ Chesshire, J. y Pavitt, K.: "World Futures. The Great Debate", editado por C. Freeman y M. Jahoda, 1978.

3/ Darmstadter, Dunkerley y Alterman, op. cit.

/Cuadro II-9

Cuadro II-9

IMPORTANCIA RELATIVA DEL CARBON
(% 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 ...", op. cit.

La evolución se visualiza gráficamente en la Fig. 3a, en la que 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 con 60-70% del abastecimiento de energía primaria, habiendo reducido su participación en 1972 a menos de un 20%.

Hidrocarburos

La importancia relativa de los hidrocarburos se ha determinado en forma análoga a la del carbón. Los resultados aparecen en el cuadro II-10 y Fig. 3b.

Cuadro II-10

IMPORTANCIA RELATIVA DE LOS HIDROCARBUROS
(% 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 ...", op. cit.

/Gráfico 3a

Gráfico 3a

IMPORTANCIA RELATIVA DEL CARBON
EN EL TOTAL DE ENERGIA PRIMARIA

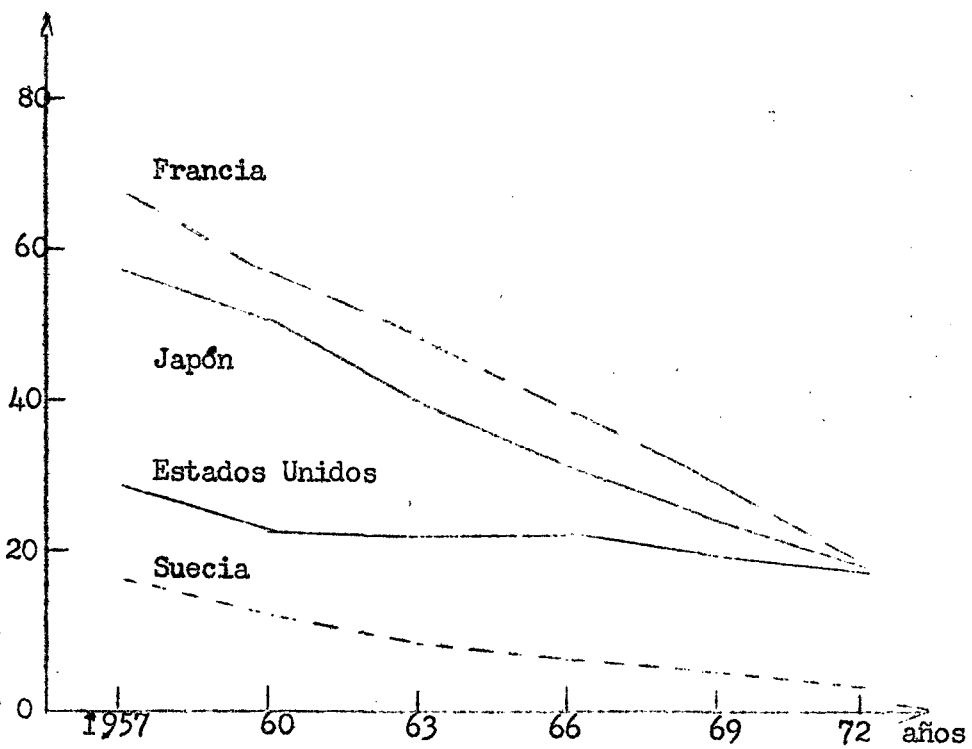
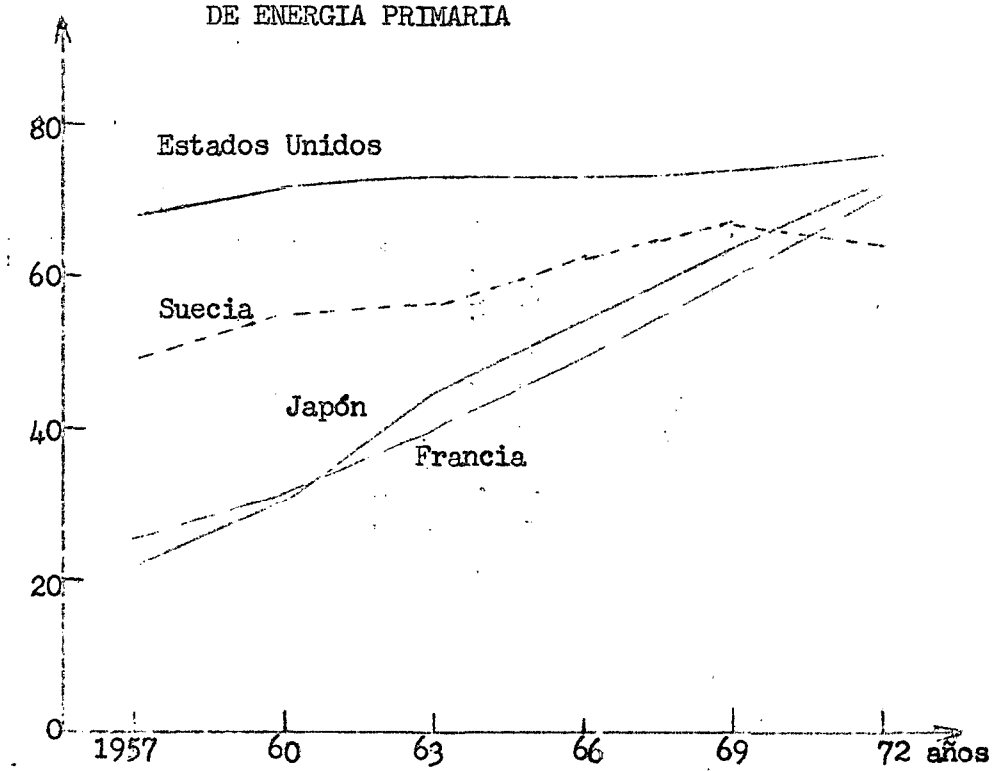


Gráfico 3b

IMPORTANCIA RELATIVA DE LOS
HIDROCARBUROS EN EL TOTAL
DE ENERGIA PRIMARIA



/Se observa,

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

La segunda observación que merecen las cifras del cuadro II-10, es que la evolución de la participación de los hidrocarburos es tal que al término del período considerado la situación de los cuatro países es sensiblemente igual, acercándose bastante al patrón de consumo de Estados Unidos (incorporación del estilo petróleo-intensivo a que se hizo referencia anteriormente).

Electricidad

La contribución de la electricidad (hidráulica, nuclear y térmica convencional) al abastecimiento energético se presenta en el cuadro II-11 y Fig. 4a.

Cuadro II-11

IMPORTANCIA RELATIVA DE LA ELECTRICIDAD a/
(% 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 ...", op. cit.

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).

También se ha estimado útil conocer la evolución de la electricidad, expresada como la variación temporal del consumo por habitante: cuadro II-12 y Fig. 4b.

/Gráfico 4a

Gráfico 4a

IMPORTANCIA RELATIVA DE LA ELECTRICIDAD

% de la energía primaria

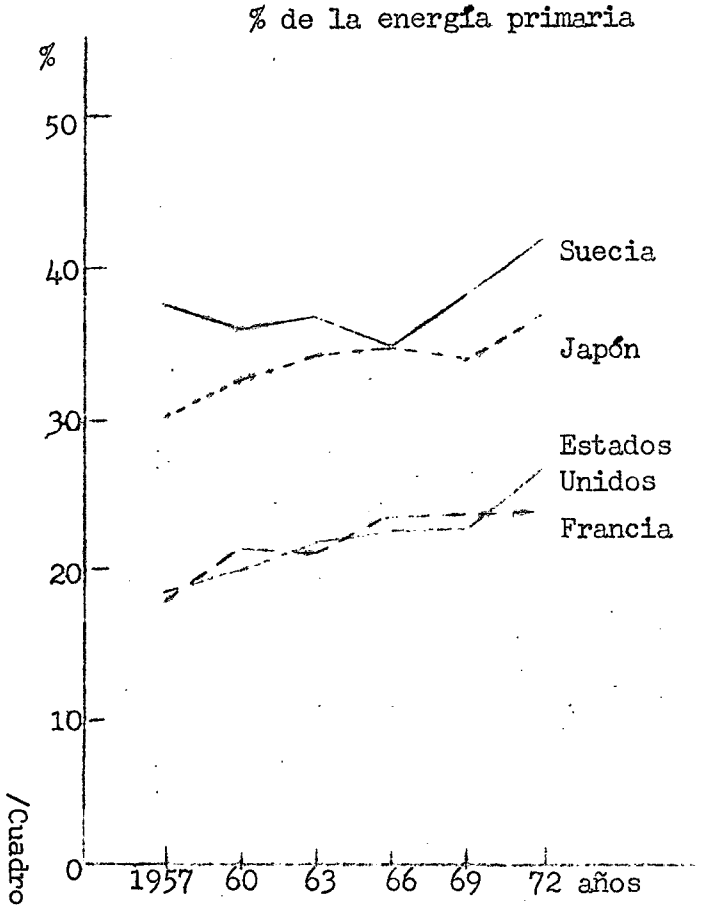
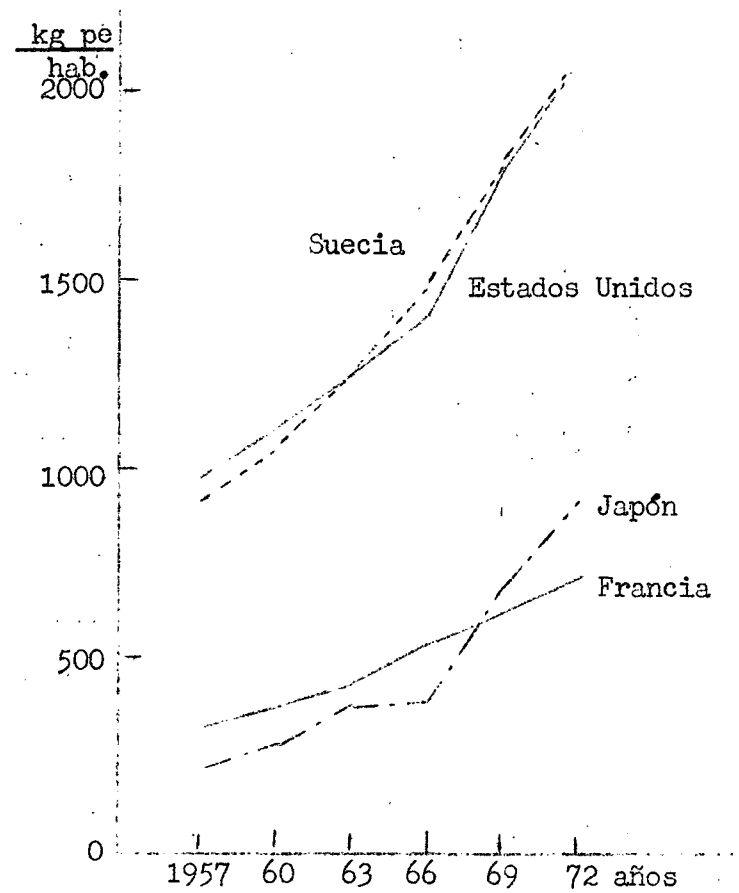


Gráfico 4b

CONSUMO DE ELECTRICIDAD POR HABITANTE



Cuadro II-12

CONSUMO DE ELECTRICIDAD POR HABITANTE

(Kgpe/hab) 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", op. cit., y "United Nations Demographic Yearbook".

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

Como síntesis de lo que puede inferirse de los antecedentes relativos a la repartición porcentual de energía primaria en el período considerado, cabe señalar que se observa una clara sustitución de carbón por hidrocarburos, especialmente en Japón y Suecia, en que también este aumento de los hidrocarburos sustituye la participación de electricidad hidráulica y nuclear. En Estados Unidos y 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" 1/ en Europa Occidental y Japón.

1/ Sunkel, Osvaldo: "La Dimensión Ambiental ...", op. cit.

/Anexo I

Anexo I

Precios de la energía

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 ella es utilizada.

En el caso del transporte, como se puede apreciar en el cuadro II-5, el consumo de energía (tpe/hab) es tanto menor cuanto mayor es el parámetro precio de la gasolina/PGB por habitante.1/

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 y los índices de consumo de las viviendas: Estados Unidos, 100; Francia, 56; Suecia, 64; Japón, 42.2/ Nuevamente se observa una asociación de los altos consumos con el menor precio.

En la industria la relación entre consumo por unidad de producto y precio no emerge con la misma claridad. 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 3/. En Estados Unidos, a partir de 1920 se produce una disminución sostenida del cuociente energía/producto, no obstante que en gran parte del período (hasta 1972) los precios de la energía declinan en términos reales. Los mismos autores de la obra citada ofrecen, entre otras, una explicación basada en consideraciones ajenas al precio de la energía. Señalan, por ejemplo, que una caída espectacular en el precio del carbón no podría haber sostenido los ferrocarriles a vapor, dadas las virtudes del combustible y la tecnología Diesel.

1/ 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 ...", op. cit.).

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

3/ Sam H. Schurr, et al, "Energy in America's Future", The Johns Hopkins University Press, 1979.

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, ellos sugieren:

1. que en general, como resulta esperable desde un punto de vista puramente económico, existe una relación inversa entre los niveles de consumo y los precios de la energía;
2. que el efecto del precio no explica totalmente las diferentes intensidades energéticas, sea a lo largo del tiempo dentro de un país, sea entre países, y
3. que existen otras causas de naturaleza estructural, tecnológica y de hábitos o estilos de vida que juegan un rol importante 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 1/ 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, estimándose las siguientes elasticidades sectoriales: residencial, -0.79; industria, -0.5 y transporte, -0.36.

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,2/ 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.

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

2/ 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", Thèse, Ecoles des Hautes Etudes en Sciences Sociales, París, 1980).

Capítulo III

FUTUROS REQUERIMIENTOS DE ENERGIA

1. Introducción

Se han efectuado numerosos estudios sobre la futura demanda de energía a nivel mundial, regional o de grupos de países y de países individuales.

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 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". Este estilo de desarrollo aparece caracterizado, entre otros, por los siguientes procesos relevantes: industrialización, metropolización y modernización de la agricultura, procesos asociados con una transformación de la base energética.1/

Este capítulo del estudio pretende básicamente comparar escenarios alternativos de los requerimientos de energía (para un país caso). Un escenario 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,2/ que la adopción del modelo de sociedad urbano-industrial no implica necesariamente los mismos patrones de consumo de energía. Las diferencias observadas dentro de países industrializados deben atribuirse, en buena proporción, al grado de penetración del estilo ascendente (sin desconocer, por cierto, la influencia 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 demuestran hacer buen uso de la energía y de acciones

---

1/ Sunkel, Osvaldo: "Estilos de Desarrollo...", op.cit.

2/ Ver capítulo "La Energía en los Países Industrializados".

/que sin

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 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. Dichos cambios y modificaciones obedecen 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.

2. Caso de Chile

No obstante el grado de generalidad que se pretende lograr en este estudio, no se desea mantener la discusión en niveles de abstracción, por lo cual se ha considerado necesario concretar ideas valiéndose de un país caso: Chile.

La elección de este país obedece a tres razones fundamentales: se trata de un país en desarrollo de América Latina (región que específicamente compete a la CEPAL); se estima que se dispone de antecedentes relativamente completos sobre su evolución energética y otros aspectos relevantes para los fines del presente estudio, y es un país importador de petróleo.

2.1 Antecedentes históricos

2.1.1 Consumo bruto de energía primaria

Se analiza el período 1960-1978 ya que para él existe suficiente información respecto de producción y consumo de energía, a través de los balances anuales de energía recientemente publicados por la Comisión Nacional de Energía.1/

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

1/ Comisión Nacional de Energía: "Balance de Energía 1960-1978 Chile", Santiago, Chile, 1980.

/Cuadro III-1

Cuadro III-1

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: -Consumo de energía primaria: Cuadro 2.3, Evolución del consumo bruto de productos energéticos primarios.
-Población: CELADE, Boletín Estadístico Nº 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/ Notas sobre 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 los autores; b) la conversión de teracalorías en toneladas de petróleo equivalente (tpe) se efectuó a través de la equivalencia: 1 ktpe = 10.7 Tcal.

2.1.2 Consumo de energía primaria por unidad de producto

Se calculó el cuociente Energía/Producto Interno Bruto Global, utilizando los datos del cuadro III-1 y las cifras del PIBG que figuran en el documento L.236.1/

1/ 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.

/Cuadro III-2

Cuadro III-2

CONSUMO DE ENERGIA PRIMARIA POR UNIDAD DE PRODUCTO

Año	Tpe/10^6 US$ 1970
1960	914.7
1965	926.9
1970	928.5
1972	1 008.5
1975	1 102.5
1978	898.3

2.1.3 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 1/ se determinó la evolución de la importancia relativa de las diferentes fuentes primarias, incluida leña y otros (subproductos de la leña).

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 III-3

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

1/ Comisión Nacional de Energía: "Balance de ...", op.cit.

/La simple

La simple observación de las cifras anteriores pone de manifiesto la importancia rápidamente creciente de los hidrocarburos frente a una contribución casi constante de la hidroelectricidad y una importancia fuertemente decreciente del carbón y la leña.

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

2.1.4 Consumo de electricidad por habitante y coeficiente de electrificación

Cuadro III-4

CONSUMO DE ELECTRICIDAD POR HABITANTE Y COEFICIENTE DE ELECTRIFICACION

Año	Consumo electricidad/ cápita kgpe/hab a/	Coeficiente de electrificación % b/
1960	172	24.8
1965	212	26.4
1970	224	25.4
1975	229	27.4
1978	249	28.4

a/ La hidroelectricidad se valoró a través del coeficiente de sustitución indicado por ENDESA (Producción y Consumo de Energía 1978). Este indicador se expresa en petróleo equivalente por habitante por razones de consistencia con el resto del informe.

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

2.1.5 Coeficiente de elasticidad Energía/Producto

Es útil conocer el comportamiento histórico del coeficiente de elasticidad ENERGIA/PIB.

Se ha calculado dicho coeficiente para dos períodos: 1950-1975 y 1960-1971, incluyendo para el primero de ellos a otros países de América Latina.

/Cuadro III-5

Cuadro III-5

COEFICIENTE DE ELASTICIDAD ENERGIA/PIB a/

Período	País	Coeficiente
1960-1975	Argentina	1 208 b/
1960-1975	Brasil	1 019 c/
1960-1975	Chile	1 046 b/
1960-1975	México	1 202 c/
1960-1971	Chile	1 159 d/

a/ PIB de E/CEPAL/L.236.

b/ En base a datos de consumo de energía de J. Mullen, "Energy in Latin America: The Historical Record", en Cuadernos de la CEPAL, 1978.

c/ E/CEPAL/PROY.2/R.46: Consumo energético en la industria manufacturera: el caso de Brasil, Octubre de 1979.

d/ En base a datos de consumo de energía de la Comisión Nacional de Energía (incluyendo leña).

2.2 Futuros requerimientos de energía

2.2.1 Escenario de referencia

Corresponde al escenario estrechamente asociado al estilo de desarrollo vigente vigente y, por lo mismo, determinado en buena medida por las tendencias históricas. No siendo el propósito del presente estudio elaborar proyecciones de la demanda de energía, el escenario de referencia se determinará en base a estudios anteriores.1/ Dichos estudios entregan cifras que no son directamente comparables, por razones

1/ - Alvarado, S. y Schmidt, R., "La Energía Solar en el Balance Energético Nacional", XV Convención de UPADI, Santiago, 1978.
- Lukaschewsky, E., "Eficiencia en el Uso de Energía en Chile", memoria de título, Universidad de Chile, 1980.
- Pedrals, J., "Energía 1979/1990", 1979.
- Trénova, J., "América Latina. Estimación del Consumo de Energía Comercial en los años 1980, 1985, 1990 y 2000 por Fuentes Primarias", comunicación privada, 1978.
- Trénova, J., "Perspectivas 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.
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo-Organización Latinoamericana de Energía, "Requerimientos Futuros de Fuentes no Convencionales de Energía en América Latina", (síntesis de estudio elaborado por la Fundación Bariloche), 1979.

/como las

como las siguientes: el consumo de energía del país se ha considerado sea como consumo total, sea como consumo a nivel de usuarios finales y en otros casos in especificar; algunos autores incluyen la energía no comercial (leña y otros); para la hidroelectricidad se han adoptado diferentes equivalentes calóricos; 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 Mtpe 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 Mtpe. El valor más alto (Trênova) es de aproximadamente 16.3 Mtpe 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 Mtpe.

Para el año 2000, las cifras corregidas en forma análoga muestran un rango que va aproximadamente de 23.7 Mtpe (Pedrals) a 31.5 Mtpe (Trênova). Ahora la discrepancia es ciertamente mayor, que podrá 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 1/ estima los siguientes coeficientes de elasticidad: 1960-1971: 1.10; 1975-1978: 0.82; 1975-1980: 0.66.

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. Ahora bien, según estimaciones de CEPAL, la tendencia de crecimiento del PIB para el período 1950-1970 fue de un 4.3% anual. En la década de 1970 se han registrado 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.

1/ Philippi, Bruno, "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.

/Por otra

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.1/

En cuanto al coeficiente de elasticidad energía-producto, 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 poco intensivas en 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 implementarlos. 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 romper 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 menos intensivas en el uso de la energía (industrias livianas de tecnología avanzada tales como electrónica y comunicaciones).

Observando el cuadro III-5 se advierte que los coeficientes de elasticidad en períodos recientes son mayores de 1.0. Se podría aceptar como hipótesis 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).2/ Luego dicho coeficiente se mantendría

---

1/ Trénova, J., "América Latina. Estimación del Consumo de Energía...", op.cit.

2/ Pedrals, J., "Energía...", op.cit.

/en el

en el último valor hasta 1995, momento a partir del cual y hasta el horizonte de tiempo del estudio alcanzaría un valor medio de 0.70.1/

De acuerdo a las hipótesis planteadas para Chile, se tendrían las siguientes tasas de crecimiento del consumo de energía primaria (incluyendo leña y otros):

Cuadro III-6

ESTIMACIONES DE LAS TASAS DE CRECIMIENTO DEL CONSUMO DE ENERGIA PRIMARIA

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

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.

1/ Ridker y Watson, en "To Choose a Future. Resource and Environmental Consequences of Alternative Growth Paths", 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) fluctúan entre -9 y -5%; en 1976-1985 sería -11% con relación a 1960-1972.

/De esta

De esta manera los consumos brutos de energía primaria (totales y por habitante) serían los siguientes:

Cuadro III-7

CONSUMO BRUTO DE ENERGIA PRIMARIA

(Escenario de referencia)

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

a/ Calculado con proyecciones de población de CELADE, Boletín Demográfico Nº 23, 1979.

b/ De cuadro III-1.

c/ Calculado según tasas hipotéticas antes indicadas.

Es obvio que este escenario de referencia es altamente hipotético y no ha considerado la posible influencia de factores que podrían alterarlo. Supone, entre otras premisas importantes, que el crecimiento económico es alto y sostenido y que en consecuencia, no se producen dentro del horizonte de tiempo del estudio recesiones económicas. La experiencia histórica reciente demuestra claramente que las recesiones económicas provocan un decrecimiento inmediato en los consumos de energía. Así, por ejemplo, el consumo de energía en Chile, correspondiente a 1975 fue un 13% inferior 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.1/

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.

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

/Para estos

Para estos fines se utilizarán también como base algunos de los estudios ya mencionados.1/ 2/ 3/

Cuadro III-8

ESTIMACIONES DE CONSUMOS DE ENERGIA POR FUENTES EN EL AÑO 2000

	% a/	% b/	%
Hidroelectricidad	23.8	29.5	30.9
Geotermia	0.3	1.5	0.1
Nuclear	6.6	9.0	2.5
Carbón	8.6	13.5	11.4
Hidrocarburos	58.3	42.0	54.0
Otros (solar, biomasa)	-	5.5	1.1

Fuente: Véanse los documentos citados en notas de pie de página 1/, 2/ y 3/ infra.

a/ Considera sólo energía comercial. El total no suma 100% debido a que se omitió el gas licuado.

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

Respecto a la información contenida en el cuadro III-8 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 coincidentes en 30-31%).
- Geotermia: la participación estimada en los tres casos es despreciable.
- Nuclear: la reciente decisión de la autoridad de postergar el proyecto nucleoeléctrico hace muy improbable una participación como la indicada.
- Carbón: las tres estimaciones coinciden en asignarle una contribución que es la tercera en importancia.

1/ Trénova, J., "Perspectivas de la Energía Solar,...", op.cit. Porcentajes calculados a partir del cuadro 16.

2/ Pedrals, J., "Energía...", op.cit.

3/ Alvarado, S. y Schmidt, R., "La energía solar...", op.cit. Porcentajes recalculados para valorar la hidroelectricidad mediante el coeficiente de sustitución (2 500 kcal/kWh).

/- Hidrocarburos:

- 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 las siguientes hipótesis de trabajo en cuanto a la contribución de las distintas fuentes al abastecimiento energético:

i) corto plazo (1990): similar a la actual;

ii) largo plazo (2010): similar a la indicada en el cuadro III-8 para el año 2000.

Cuadro III-9

CONTRIBUCION PORCENTUAL DE LAS FUENTES ENERGETICAS PRIMARIAS

	1978 a/	1990 b/	2010 b/
Hidroelectricidad c/	18.7	23	30
Geotermia	-	-	1
Nuclear	-	-	3
Carbón	9.5	12	12
Hidrocarburos	58.4	55	50
Otros (biomasa, solar)	13.4	10	4

a/ De cuadro III-3.

b/ Hipótesis en este estudio.

c/ En Chile la hidroelectricidad históricamente se ha duplicado cada 11 años; esta proyección implica la misma tasa de crecimiento.

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% (cuadro III-4). Para el mismo período la tasa anual de crecimiento del consumo de energía primaria por habitante fue de 1.3%.

/En otros

En otros términos, el país se ha electrificado a una velocidad mayor que el consumo global de energía, fenómeno bien conocido y anteriormente señalado por la ENDESA.1/ Por lo demás, el mismo fenómeno se ha observado en los países industrializados (véase capítulo II).

El escenario de referencia adoptado implica, para el incremento del consumo de energía primaria, una tasa media anual del 4.7% (cuadro III-7). 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%.

Análisis sectorial

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 sustancial del consumo total, del orden de un 25%, (y de 1/3 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 del orden de 1/3 de toda la energía que ocupa el sector transporte, porporció que tiende a aumentar (en Estados Unidos la proporción es 1/2).

En Chile, el sector transporte ha representado históricamente (1960, 1970 y 1978) entre un 23% y un 24.4% del consumo total de energía.2/

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 1995.3/

Por consiguiente, el valor absoluto sería (ver cuadro III-7) de 10 454 ktpe.

1/ Empresa Nacional de Electricidad S.A., "Producción y Consumo de Energía en Chile", 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.

2/ Comisión Nacional de Energía: "Balance de Energía 1960-1978", 1980.

3/ PNUD/OLADE: "Requerimientos futuros de fuentes no convencionales de energía en América Latina", 1979.

/Por otra

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 aspecto.1/ 2/ 3/ 4/ 5/

Cuadro III-10

RELACION TASA DE MOTORIZACION - VIAJES URBANOS EN AUTOMOVIL

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

a/ Para 1974.

b/ De referencia 5/ infra.

c/ Para 1977.

d/ Cifra recalculada excluyendo viajes a pie.

El gráfico 1 muestra una clara correlación entre las dos variables.

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

1/ Darmstadter, et al., "How industrial societies use energy", 1977.

2/ Universidad Católica de Chile, Departamento de Ingeniería de Transporte, "Encuesta origen y destino", 1977.

3/ E. Lukaschewsky: "Eficiencia en el uso de la energía en Chile", Memoria de título, Universidad de Chile, 1980.

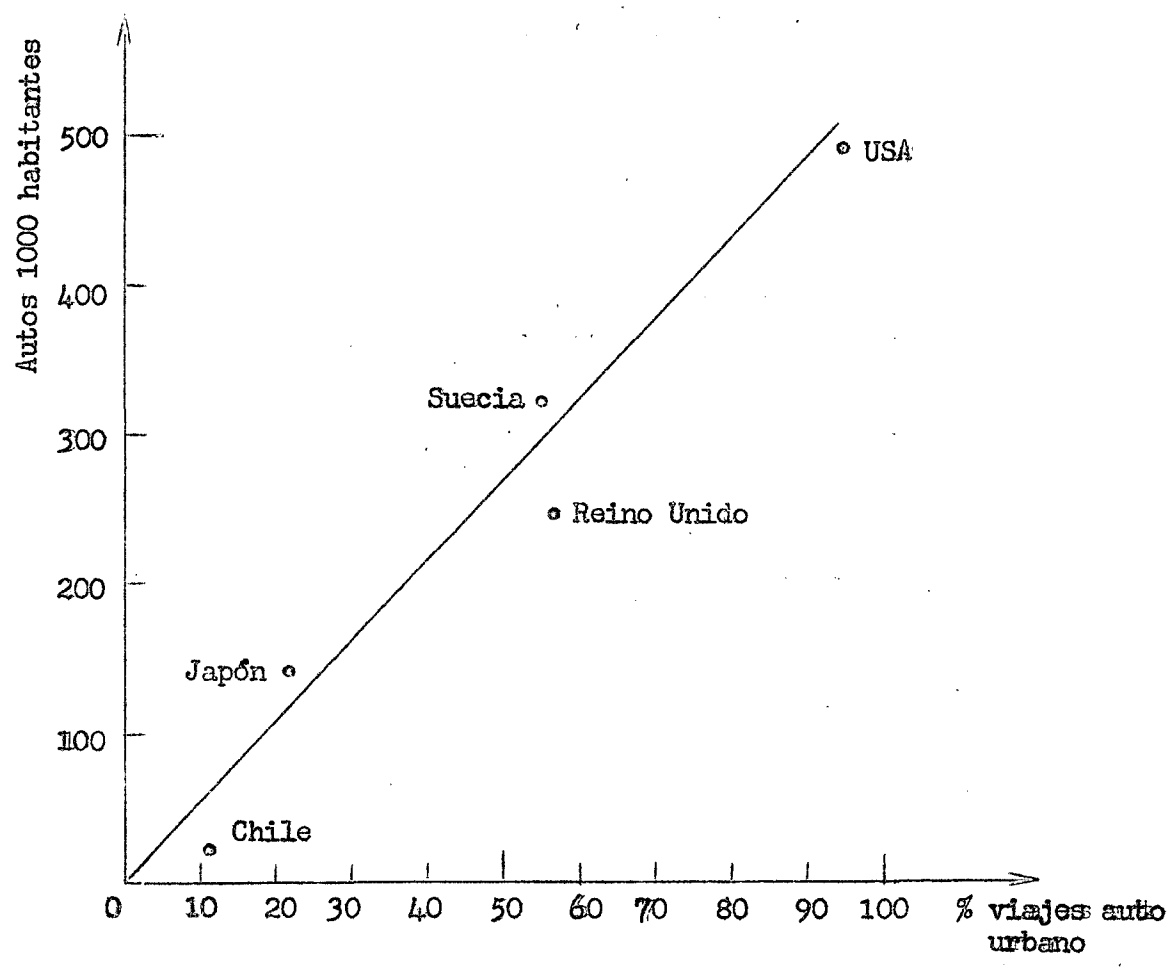
4/ OECD: "Energy conservation in the International Energy Agency, 1976 Review", 1976.

5/ L. Schipper y A.J. Lichtenberg, "Efficient energy use and well-being: the Swedish example", en Science, 1978.

/Gráfico 1

Gráfico 1

RELACION TASA DE MOTORIZACION - PORCENTAJE VIAJES URBANOS
EN AUTOMOVIL



/El consumo

El consumo de gasolina en el subsector transporte terrestre fue de 975 ktpe en 1977. Los automóviles de la Región Metropolitana son el principal grupo consumidor de gasolina (sobre 60% del total de la gasolina automotriz consumida en el país),1/ 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.2/

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 transporte.3/ 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 III-11 y III-12 resumen las proyecciones de acuerdo a las hipótesis adoptadas y a estimaciones respecto del transporte ferroviario, marítimo y aéreo.

Cuadro III-11

SITUACION ENERGETICA DEL SECTOR TRANSPORTE PROYECTADA AL AÑO 2010

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

a/ Se incluyó el año 1978 con fines comparativos, en base a cifras publicadas por la Comisión Nacional de Energía.

1/ Léniz y Silva - Ingenieros Consultores. Comunicación privada, 1979.
2/ CELADE: "Boletín Demográfico Nº 23", 1979.
3/ Comisión Nacional de Energía: "Balance...", op.cit.

/Cuadro III-12

Cuadro III-12

REPARTICION POR FUENTE DEL CONSUMO EN TRANSPORTE

	1978 %	2010	
		ktpe	%
Gasolina	52.2	6 246	59.7
Petróleo diesel	31.1	3 208	30.7
Petróleo combustible	4.3	157	1.5
Gasolina aviación	0.5	23	0.2
Kerosene aviación	8.0	751	7.2
Electricidad	0.8	63	0.6
Carbón	3.0	6	0.1
Otros	0.1	-	-
Total	100.0	10 454	100.0

Sector residencial-comercial

Este sector, al igual que el 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.).

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.1/ 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.2/

Por consiguiente, se tendrá para este sector en el año 2010 un consumo de 9 200 ktpe (ver cuadro III-7).

1/ Comisión Nacional de Energía: "Balance..." op.cit.
2/ PNUD-OLADE: "Requerimientos futuros...", op.cit.

/En 1977,

En 1977, según E. Lukaschewsky,1/ la distribución porcentual por subsectores, era la siguiente:

Cuadro III-13

SECTOR RESIDENCIAL-COMERCIAL. DISTRIBUCION POR SUBSECTORES (1977)

Subsector	Combustibles %	Electricidad %
Residencial	91.7	54.7
Comercial	1.6	16.4
Fiscal y municipal	6.7	28.9

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.2/

De este modo se tendría la siguiente situación proyectada al año 2010.

Cuadro III-14

SECTOR RESIDENCIAL-COMERCIAL. DISTRIBUCION POR SUBSECTORES (2010)

Subsector	Combustibles		Electricidad		Total	
	ktpe	%	ktpe	%	ktpe	%
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
Total	7 452	100.0	1 748	100.0	9 200	100.0

1/ E. Lukaschewsky: "Eficiencia en el uso...", op.cit.
2/ Comisión Nacional de Energía: "Balance...", op.cit.

/En cuanto

En cuanto a la distribución del consumo por tipo de combustible, puede esperarse, de acuerdo a la tendencia histórica, que ella sea la siguiente:

Cuadro III-15

SECTOR RESIDENCIAL-COMERCIAL. CONSUMO DE COMBUSTIBLES (2010)

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

Industria

La industrialización aparece como uno de los procesos relevantes y característicos del estilo de desarrollo vigente. Refuerza su importancia para los fines del presente estudio el hecho de que, desde el punto de vista del balance energético nacional, presenta una participación alta y sostenidamente creciente.

En Chile la industria 1/ 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.2/

En Brasil dicho porcentaje ha sido de 34% (1970) y 39.5% (1975).3/

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

1/ 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).

2/ Comisión Nacional de Energía: "Balance..." op.cit. Electricidad valorada según coeficiente teórico 1 kWh =860 kcal =0.08 kgpe.

3/ E.L. La Rovere: "Energie et style de développement: le cas de Brésil" Thèse, Ecole des Hautes Etudes en Sciences Sociales, París, 1980. Electricidad valorada según equivalencia 1 kWh =3 100 kcal=0.29 kgpe.

/Por ejemplo,

Por ejemplo, en los cuatro países industrializados que se analizaron en el capítulo "La energía en los países industrializados", los porcentajes del consumo total de energía son para 1972: Estados Unidos, 20.9%; Francia, 27.5%; Suecia, 25.9% y Japón, 38.9%.1/

En cuanto a la evolución futura, la tendencia indica un aumento sostenido en el mediano plazo. El estudio prospectivo de la Fundación Bariloche 2/ 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 a 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 la hipótesis que este sector aumenta relativamente su participación, 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 siguen. De este modo, el sector industrial utilizaría en 2010 aproximadamente 12 545 ktpe. Si se examina la estructura del sector se concluye que cinco subsectores: cobre, papel y celulosa, siderurgia, cemento y azúcar dan cuenta del 63% del consumo del sector (1978). Por su parte, el cobre representa un 25%.

Lo anterior 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.3/ 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

---

1/ Darmstadter, et al., "How industrial societies ...", op.cit.
2/ PNUD-OLADE: "Requerimientos futuros...", op.cit.
3/ 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 de la energía en Chile", Memoria de título, Universidad de Chile, 1980).

/alcanza a

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.1/

La siderurgia no presenta históricamente (período 1960-1978) un aumento significativo de los insumos energéticos. Sin embargo, se tiene conocimiento de planes para incrementar sustancialmente los actuales niveles de producción conjuntamente con la adopción de medidas para disminuir el consumo específico.2/

Los subsectores cemento y 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 en cambio deberán aumentar los de la industria petroquímica (representan actualmente 1% del sector) y los de la industria alimenticia.

Observando las tendencias de la estructura del consumo 3/ se puede estimar la siguiente situación al año 2010.

Cuadro III-18

SECTOR INDUSTRIAL-DISTRIBUCION POR FUENTE (2010) a/

	Ktpe	%	%
Derivados del petróleo y gas natural	5 645	45.0	(48.1)
Carbón	1 882	15.0 b/	(9.4)
Leña y otros desechos vegetales	1 254	10.0 c/	(15.8)
Coke, gas de altos hornos, etc.	1 004	8.0	(9.1)
Electricidad	2 760	22.0	(17.6)
Total	12 545	100.0	

a/ Los valores entre paréntesis corresponden a 1978, incluidos con fines comparativo

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

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

1/ Comisión Nacional de Energía: "Balance..." op.cit.

2/ G. Villaseca y R. Larraín: "Plan de disminución de consumo de energía en Huachipato", mimeo, CAP, 1980.

3/ Comisión Nacional de Energía: "Balance..." op.cit.

/Agricultura

Agricultura

La modernización de la agricultura, entendida como la adopción de un "paquete" tecnológico de altos insumos de energía comercial, ha sido incluida entre los procesos relevantes que caracterizan al estilo de desarrollo vigente.

Por ese motivo se la incluye en este análisis, no obstante que la agricultura de producción (como sector consumidor de energía) representa un bajo porcentaje (del orden del 3%) del total nacional. (Véase anexo I "La Energía en la Agricultura y la Alimentación".)

Resulta más difícil que en los otros sectores efectuar estimaciones y proyecciones, puesto que se carece en Chile de información desagregada, tanto para la agricultura de producción como para la agroindustria o la industria alimenticia.

Se dispone de algunos antecedentes 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 20.10^6 kWh (1.6 ktpe).

Estas cifras ciertamente corresponden sólo a una parte de los insumos energéticos de la producción agrícola del país, ya que representan únicamente el 1.7% del total de la energía consumida por el país (usos finales) en 1974,2/ faltando, 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 (con los datos parciales antes mencionados se tiene 98.6% de derivados del petróleo y 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.3/

Se debería suponer que en el futuro aumentarán los insumos energéticos comerciales (maquinarias, fertilizantes, riego y plaguicidas) aunque la participación porcentual en el balance energético nacional no se modifica sensiblemente, acercándose al promedio de los países desarrollados (3.4%).4/ Esta será la hipótesis de trabajo, cifra que representa en valor absoluto 1 422 ktpe en el año 2010.

1/ S. Alvarado y R. Schmidt: "La Energía Solar...", op.cit.

2/ Comisión Nacional de Energía: "Balance...", op.cit.

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

4/ La Rovere, en "Energie et Style de Développement: Le Cas du Brésil", 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).

Sector Energía

Además de los sectores usuarios de energía (transporte, industria, residencial-comercial, agricultura) anteriormente analizados, es preciso considerar el sector productor y transformador de energía, que es también consumidor de combustibles y electricidad. Este sector recibe igualmente la designación de "centros de transformación".

Algunos autores los subdividen en "pérdidas de transformación" (pérdidas que se producen al convertir una forma de energía en otra, por ejemplo, combustibles en electricidad) y sector energía propiamente tal (consumos propios de refinerías, centrales, etc.).

Además, algunos balances nacionales de energía incluyen como consumo los usos no energéticos de los combustibles (por ejemplo, materias primas para la petroquímica).

En este estudio no se efectúa la subdivisión del sector energía antes señalada ni se consideran 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 del orden del 15% del consumo de derivados del petróleo y gas natural en los demás sectores.1/ 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 habrá un consumo en el subsector petróleo de 1 200 ktpe.

El subsector carbón utiliza básicamente electricidad y carbón (3 y 2.5% del carbón consumido en los demás sectores, respectivamente).1/ Para este escenario se adoptan las mismas cifras, lo cual conduce a 45 y 38 ktpe, respectivamente.

El subsector gas y coke emplea hidrocarburos, carbón y electricidad. Lo primero se calcula como el 24% del consumo en los demás sectores de gas corriente, gas de altos hornos y coke (estimado 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 son: 358, 240 y 52 ktpe, respectivamente.

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

/El subsector

El subsector generación eléctrica consume sólo electricidad (autoconsumos y pérdidas por distribución), estimada en 10% de la generación neta, ya que los combustibles están incorporados a la electricidad de origen térmico de cada uno de los demás sectores. Esta electricidad se supone de origen hidráulico, ya que la termoelectricidad es 12% del total.1/

Por razones de consistencia con la forma en que la hidroelectricidad se ha valorado 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, situación ya discutida en el capítulo II al comparar Suecia (cuya generación 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, en razón de suponérsele incluido en el sector industrial.

2.2.2 Escenarios alternativos

Como ya se ha expresado, se examinarán esquemas de abastecimiento energético para dos escenarios alternativos al que se ha denominado escenario de referencia.

Este último aparece estrechamente asociado, por no decir determinado, por el actual estilo de desarrollo. Los escenarios alternativos, en cambio, se plantean introduciendo variantes al estilo de desarrollo dado por las pautas del mundo industrializado occidental y que es el estilo que en mayor o menor grado han adoptado o están adoptando los países en desarrollo.

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

El segundo escenario alternativo (B) tendrá un carácter más radical, considerando la posibilidad de modificaciones sustanciales en los procesos relevantes que caracterizan a la sociedad urbano-industrial.

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

/Escenario alternativo

Escenario alternativo A

Transporte

Las dos ideas básicas son, 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 de un 54%. Se propone alterar este resultado tendencial, fijando dicho valor en 30%, sin necesariamente modificar la tasa de motorización, puesto que la población deseará siempre contar con automóvil (que en esta proposición quedará reservado para otros fines en que no es sustituible 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 ktpe (principalmente gasolina).

Existe información respecto de los consumos específicos de energía en transporte, expresado en gpe/pas-km o gpe/ton-km para los distintos medios.

Para el automóvil, por ejemplo, dicho consumo específico es del orden de 50 gpe/pas-km. Si bien los rendimientos medios (km/litro de gasolina) varían entre los diferentes tipos (6, 10 y 15 km/l para auto norteamericano, europeo y japonés pequeño, respectivamente), las tasas de utilización (personas/auto), por el tamaño relativo de los vehículos, son también diferentes (1, 1.5 y 2.6, respectivamente).1/ 2/ 3/

Otros consumos específicos así como la relación entre consumos específicos se puede deducir de información contenida en el documento de Darmstadter:4/

Auto/bus:	2.94
Camión/barco:	6.95
Camión/tren:	4.64
Barco/tren:	0.67

Con dicha información es posible estimar los menores o mayores consumos de energía en los distintos subsectores, debidos a desplazamientos de pasajeros y carga a distintos medios de transporte respecto del escenario de referencia.

1/ Observaciones de los autores.
2/ OECD: "Energy Conservation in the International Energy Agency", 1976.
3/ EPA: "California Gas Mileage Guide", 1977.
4/ Darmstadter, et al., "How industrial societies...", op.cit.

/Dichas estimaciones

Dichas estimaciones conducen a la siguiente situación con respecto al año 2010.

Cuadro III-17

SITUACION ENERGETICA DEL SECTOR TRANSPORTE PROYECTADA AL AÑO 2010

	Referencia a/		Alternativa A	
	ktpe	%	ktpe	%
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
Total	10 454	100.0	8 099	100.0

a/ Del cuadro III-11.

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

Dicho ahorro se obtendría como consecuencia de:

- menor uso del auto en beneficio de locomoción colectiva
- menor uso del camión en beneficio del ferrocarril
- menor uso del camión en beneficio del barco
- menor uso del tren en beneficio del barco

Prácticamente la totalidad de este 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 ser 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
- un aumento pequeño del consumo eléctrico.

/Sector residencial-

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 (la estimación del consumo en calefacción es 23% de los combustibles del subsector residencial).1/

Por otra parte, se cree poder disminuir las pérdidas de calor en viviendas y edificios mediante mayores aislaciones térmicas hasta en un 75%.2/

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 (producto de artefactos más eficientes y de una mayor conciencia energética de los usuarios) y de 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, siendo despreciable la fracción destinada a calefacción.3/ Se espera ahorrar un 50% de la electricidad usada en iluminación del subsector residencial (téngase 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%) 1/ y un 25% de la electricidad empleada por el alumbrado público. Lo anterior representa un ahorro en electricidad de 188 ktpe.4/

No se espera ahorros en electrodomésticos, ya que aunque éstos debieran ser más eficientes, su cantidad por familia será mayor en el futuro.

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

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

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

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

/En resumen,

En resumen, se tendría para el escenario alternativo A la siguiente situación:

Cuadro III-18

SECTOR RESIDENCIAL-COMERCIAL. DISTRIBUCION POR SUBSECTORES (2010)

Subsector	Combustibles		Electricidad		Total	
	ktpe	%	ktpe	%	ktpe	%
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
Total	5 955	100.0	1 560	100.0	7 515	100.0

Cuadro III-19

SECTOR RESIDENCIAL-COMERCIAL. ESTRUCTURA ENERGETICA (2010)

Energético	ktpe	%
Petróleo diesel y combustible	628	8.4
Kerosene y gas licuado	3 185	42.3
Gas natural y corriente	1 120	14.9
Leña	870	11.6
Electricidad	1 560	20.7
Energía solar	80	1.1
Total	7 515	100.0

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.1/

1/ 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.

/En el

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

En segundo término, se supondrá que se produce una mayor penetración de la leña y residuos vegetales, elevando su participación a un porcentaje del 18%.

Es factible pensar que la eficiencia con que la industria use la energía mejora 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:

Cuadro III-20

SITUACION ENERGETICA DEL SECTOR INDUSTRIAL (2010)

	ktpe	%
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
Total	11 290	100

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 su consumo es en este escenario menor en 1 468 ktpe (provocando un incremento en el uso de otros combustibles que tienen distinta eficiencia).

Agricultura

Partiendo de la premisa esencial que es necesario aumentar la producción nacional de alimentos, habrá que suministrarle mayores insumos energéticos a la agricultura. En efecto, se estima que, en general, el incremento de la producción agrícola proviene en 2/3 de la intensificación de los cultivos y en 1/3 de la ocupación de nuevos suelos.1/

1/ N. Gligo, (CEPAL): comunicación privada.

/La tendencia

La tendencia histórica muestra que nuestro país, al igual que otros países en desarrollo, debe importar cantidades crecientes de alimentos esenciales, situación que puede corregirse sin que existan obstáculos técnicos ni económicos.

Empíricamente se ha probado que a mayores insumos energéticos, mayores rendimientos.1/ La función de proporcionalidad no es lineal (rendimientos decrecientes) y admite un máximo, es decir, el usar mayor cantidad de fertilizantes, por ejemplo, hace bajar el rendimiento. Ese límite, sin embargo, está todavía lejos de alcanzarse.

En Estados Unidos (1972) los insumos energéticos agrícolas equivalen a 0.139 tep/hab/año.2/ Puede estimarse que en Chile dicho indicador alcanzaba, en el mismo año, a 0.030 tep/hab/año.

La hipótesis, para construir este escenario, será que en 2010 se llegue a 0.100 tep/hab/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 petróleo y derivados y electricidad. 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". 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.3/

Como resultado de lo anterior, 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.

1/ Esta afirmación no es de validez absoluta. Algunos autores sostienen que la agricultura tradicional y otras técnicas pueden originar menores consumos de energía. Por ejemplo, Commoner afirma que las granjas convencionales requieren 18 400 Btu por 1 dólar de producción, en tanto que las granjas "orgánicas" sólo necesitan 6 800 Btu/dólar. B. Commoner:"The Poverty of Power", 1976.

2/ Cifra calculada a partir de datos de Darmstadter, et al., "How industrial...", op.cit.

3/ B. Commoner: "The Poverty of Power", 1976.

/Por consiguiente

Por consiguiente, se propone para la agricultura, en este escenario alternativo, una mayor utilización de las fuentes no convencionales de energía (si actualmente se las utiliza, por ejemplo en el secado natural de productos mediante energía solar, su contribución es despreciable).1/

Para cuantificar la futura contribución de las fuentes no convencionales de energía se emplearán las proyecciones del estudio de la Fundación Bariloche,2/ que estima que 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.

Considerando, sin embargo, que la Fundación Bariloche supone una penetración muy agresiva de las fuentes no convencionales, aquí se adoptará la cifra del 20% para el año 2010 (para este año la Fundación Bariloche estima que la contribución media 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 III-21

INSUMOS ENERGETICOS DEL SECTOR PRODUCTIVO AGRICOLA (2010)

	% a/	ktpe
Hidrocarburos	72.2	1 086
Combustible vegetal	0.6	9
Electricidad	7.2 b/	108
Fuentes no convencionales	20.0	307
Total	100.0	1 504

a/ Según estimaciones de la Fundación Bariloche para 1995.
b/ Pimentel y Terhune ("Energy and Food", Annual Review of Energy, Vol. 2, 1977), estiman la electricidad en 10% para los Estados Unidos.

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 2.2.1, p. 52).

1/ Las fuentes no convencionales incluyen: energía solar y eólica, biogás, alcohol, leña y residuos vegetales quemados con alta eficiencia.
2/ PNUD-OLADE: "Requerimientos Futuros...", op.cit.

/De este

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)

Escenario alternativo B

Este escenario, como anteriormente fue señalado, supone modificaciones más sustanciales en el estilo de desarrollo, orientadas a 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 podrán generarse por 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 de acuerdo a los escenarios anteriores poseen las siguientes características:

- Utilizan una fracción importante de la energía consumida por el país
- Muestran una fuerte dependencia de los hidrocarburos
- Están estrechamente asociados al estilo de desarrollo
- Presentan viabilidad en cuanto a cambios estructurales importantes.

Y por el lado de la oferta, en aquellas fuentes convencionales que han ido siendo desplazadas por los hidrocarburos (carbón, leña y otros combustibles vegetales) y en las fuentes no convencionales (energía solar y biomasa no tradicional).

A continuación se procede al análisis sectorial.

Transporte

El consumo de energía provocado por el transporte intraurbano, principalmente de pasajeros, es una fracción elevada del consumo total del sector, tanto mayor cuanto más extensas son las aglomeraciones urbanas.1/

1/ 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 Mat's Lab. ORNL-NSF-EP-44, 1973).

/Por otra

Por otra parte, la metropolización es uno de los fenómenos característicos y relevantes del estilo de desarrollo vigente.

En tales circunstancias, el escenario alternativo B propone una distribución especial de la población diferente a la actual y a la que indica la tendencia histórica, con mayor descentralización y menor concentración, a la vez que una planificación urbana de las ciudades de gran tamaño destinada a evitar el distanciamiento entre el lugar de residencia y el lugar de trabajo.

Con estas dos proposiciones relativas a la organización espacial de la población se estima que los autos y buses urbanos reducen su consumo en un 20%, en relación al escenario de referencia.

Pero la descentralización de la población se supone que provocará un aumento del 5% en el transporte de carga.1/

Puesto que el consumo específico de energía (kgpe/ton-km y kgpe/pasajero-km) 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, análogamente a como se procedió en el escenario A. Esta más eficiente utilización 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 jugar un papel decisivo en la reducción de la demanda por servicios de transporte. Se ha estimado que el uso masivo de las técnicas modernas de telecomunicación pueden ahorrar un 20% en la energía del transporte terrestre y un 15% en el transporte aéreo de pasajeros.2/

El conjunto de proposiciones anteriores se traduce en términos numéricos en el cuadro III-22.

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). Ello conduce al cuadro III-23.

1/ 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.

2/ Friedman y Obermann: "Transportation and Telecommunications: The Energy Implications". Annual Review of Energy, vol. 4, 1979.

/Cuadro III-22

Cuadro III-22

SECTOR TRANSPORTE. DISTRIBUCION DEL CONSUMO DE ENERGIA POR SUBSECTORES

Tipo de Transporte	Consumo de energía	
	ktpe	%
Marítimo	1 145	17.9
Ferroviario	443	7.0
Terrestre	4 108	64.7
Aéreo	658	10.4
Total	6 354	100.0

Cuadro III-23

SECTOR TRANSPORTE. FUENTES DE ABASTECIMIENTO

		Kpte	%
Hidrocarburos		5 790	91.1
Carbón y derivados		-	-
Leña y residuos vegetales		-	-
FNC		376	5.9
Electricidad	Hidro. 166	188	3.0
	Térm. 22		
Total		6 354	100.0

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

Sector Residencial-Comercial

En primer término se asigna una distrubución entre urbana y rural de la población total proyectada al año 2010: 85 y 15% respectivamente.1/

1/ Estimación basada en la distribución a 1995 proyectada por la Fundación Bariloche en PNUD-OLADE: "Requerimientos futuros...", op.cit., Región IV, Zona IV.

/Luego se

Luego se considera la dotación media de combustibles por habitante para usos domésticos: 300 y 280 kgpe/hab para vivienda rural y urbana, respectivamente.1/

En el subsector residencial los requerimientos porcentuales de combustibles y electricidad se estiman en 83 y 17%, respectivamente.2/

Se supone que el subsector comercial y otros tiene dentro del sector residencial-comercial aproximadamente la misma incidencia porcentual que la determinada en el escenario A (17.5%).

Por otra parte, en los subsectores comercial, fiscal y municipal, agregados los combustibles y la electricidad contribuyen de manera similar a los requerimientos de energía.3/

La relación combustibles/electricidad en el sector será la misma anteriormente utilizada en el escenario A.

En el análisis del sector transporte se planteó la descentralización de la población.

Ello implica que existirá una tipología de vivienda diferente a la del escenario de referencia: probablemente con una proporción mayor de viviendas unifamiliares y edificios residenciales de altura media, en oposición al predominio de conjuntos multifamiliares (departamentos) en edificación de altura, características de 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.4/

A partir de las cifras del escenario de referencia y teniendo presente las consideraciones precedentes, se ha elaborado el cuadro III-24.

1/ 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.)

2/ Estimación basada en el cuadro III-18 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.

3/ Véase escenario de referencia y escenario A.

4/ Christopher Flavin: "Energy and Architecture: The Solar and Conservation Potential", Worldwatch Paper 40, 1980.

/Cuadro III-24

Cuadro III-24

SECTOR RESIDENCIAL-COMERCIAL. DISTRIBUCION POR SUBSECTORES (2010)

Subsector	Combustibles		Electricidad		Total	
	ktpe	%	ktpe	%	ktpe	%
Residencial	5 599	83	1 147	17	6 746	100
Comercial y otros	740	52	684	48	1 424	100
Total	6 339		1 831		8 170	

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 convencionales 1/ (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 III-25

SECTOR RESIDENCIAL-COMERCIAL. FUENTES DE ABASTECIMIENTO

	ktpe	%
Hidrocarburos	2 629	32.2
Carbón y derivados	120	1.5
Leña y residuos vegetales	1 680	20.6
FNC	1 910	23.4
Electricidad	1 831	22.3
Total	8 170	100.0

1/ Se adoptó una contribución del orden del 24%. El Estudio PNUD-OLADE "Requerimientos futuros...", op.cit., menciona la posibilidad de llegar a un 30%.

/Industria

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.1/

Las industrias extractivas (minería) y de transformación de materiales son, como se sabe, muy intensivas en 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 muy energético-intensivas (minería, siderurgia, cemento, plásticos, etc.).

En cambio, los países industrializados presentan una estructura en que hay una fracción importante del producto industrial que es aportada por industrias de alta tecnología y que son poco intensivas en el uso de la energía (electrónica, comunicaciones, óptica, aeronáutica, etc.).2/

En este escenario se postula que el país avanzará en la industrialización de modo que en el horizonte de tiempo establecido alcanzarán una participación significativa las industrias de alta tecnología que no demanden gran cantidad de energía por unidad de producto. Este postulado no implica ciertamente que se abandone el desarrollo y expansión de industrias extractivas (como el cobre) o de transformación de material (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, lo cual se ha estimado en un 5%. Además, se asignará a este escenario B un mayor esfuerzo en materia de ahorro de energía, que se estima se traducirá en una reducción adicional del consumo de energía de un 5%. En otras palabras, el consumo global del sector sería inferior en un 20% al del escenario de referencia e igual a 10 036 ktpe.

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

1/ 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 en la América Latina, editado por O. Sunkel y N. Gligo, Fondo de Cultura Económica, México, 1981) 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, 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.

2/ Véase nota 1/ anterior.

/En este

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% vs el 22% del escenario de referencia).

Por otra parte, se dará una participación del 5% a las fuentes no convencionales (básicamente energía solar) acorde 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 III-26

SECTOR INDUSTRIAL-DISTRIBUCION POR FUENTE

	ktpe	%
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 convencionales (solar)	500	5.0
Electricidad	3 030	30.0
Total	10 036	100.0

Agricultura

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

Sector energía

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

/Capítulo IV

Capítulo IV

IMPACTOS AMBIENTALES DE LAS ALTERNATIVAS ENERGETICAS

1. Introducción

Puesto que el presente estudio examina relaciones entre energía, estilos de desarrollo y medio ambiente, se hace necesario incorporar el tema de los efectos ambientales de las diferentes tecnologías energéticas.

Por otra parte, como se intenta comparar modelos energéticos asociados a distintos estilos de desarrollo, sería preciso disponer de una cuantificación de los impactos ambientales, tarea nada fácil.

En efecto, el análisis de las consecuencias que sobre el medio ambiente tienen los contaminantes emitidos al extraer, convertir y aprovechar diferentes recursos energéticos, requiere conocer:

"a) cantidad y tipo de contaminantes liberados;

b) dispersión de estos contaminantes en el medio ambiente;

c) caminos ecológicos seguidos por los contaminantes;

d) relaciones entre los contaminantes y el daño al hombre y a su medio;

e) la extensión del daño incluyendo su costo".1/

A fin de obviar dificultades, posiblemente insuperables en el estado actual de conocimientos, se ha optado, de preferencia, por recoger y elaborar información relativa al primer aspecto, cantidad de contaminantes emitidos, sin 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 para algunos casos se ha podido contar con información relativa a aspectos sobre el medio ambiente y sobre la salud de los trabajadores y de la población general.

No obstante el carácter limitado que tiene el análisis así planteado, es posible extraer conclusiones comparativas, ya que a mayor emisión de contaminantes habrá mayores impactos sobre el ambiente.

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

/Se acostumbra

Se acostumbra a clasificar los impactos ambientales de las alternativas energéticas en impactos sobre: la tierra, la atmósfera y el agua.

Los impactos sobre la tierra son de muy variada índole: ocupación de espacio, deforestación, movimientos sísmicos, contaminación radioactiva, destrucción del paisaje, etc.1/

De ellos, se ha encontrado información y a la vez se estiman más significativos 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 los anexos a este capítulo se indican valores numéricos para tales emisiones.

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

Además de los ya señalados (tierra, atmósfera y agua), podrían agregarse otros impactos potenciales: ruido, radio-interferencia, 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).

2.1 Uso del espacio

Un estudio de "Resources for the Future" 2/ proporciona gran parte de la información sobre uso del 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 IV-1.)

1/ Del Valle, A., "Impacto ambiental de las Alternativas Energéticas" documento (mimeo) preparado para Seminario Corfo "Chile y la Energía, Presente y Futuro", Santiago, 1980.

2/ Schurr, S.; Darmstadter, J.; Perry, H.; Ramsay, W.; Roussell, M.; "Energy in America's Future", 1979.

/Cuadro IV-1

Cuadro IV-1

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

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

a/ Acres por planta equivalente.

b/ Metros cuadrados por kilotonelada de petróleo equivalente, utilizando el 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. (Cálculos efectuados por los autores.)

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

d/ Cifra calculada por los autores en base a la información contenida en UNEP: "The environmental impacts of production and use of energy. Part III. Renewable sources of energy", 1979. Un grupo de 10 grandes centrales de embalse ubicados en 6 países, cuyas potencias son superiores a 1 000 MW, ocupan 38 645 km2.

e/ Optativo.

f/ Incluye áreas de exclusión.

2.2 Emisiones

2.2 Emisiones

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 IV-2, IV-3, IV-4, IV-5, IV-6 y IV-7.)

Las cifras que aparecen en dichos cuadros han sido calculadas por los autores en base a la información que figura en los apéndices a este capítulo.

Obviamente 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.

2.3 Consumo de agua

El proceso que más contribuye al consumo de agua es el relativo a la refrigeración de los sistemas de potencia.1/ La literatura técnica sobre impactos ambientales señala 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^3/seg por planta equivalente 2/ para carbón y nuclear, respectivamente, lo cual representa 1.1 a 1.7· 10^4 m^3/ktpe.

Cuadro IV-2

REFINACION DE PETROLEO

(Emisiones en ton/ktpe)

Emisiones gaseosas		
SO_x		0.778
NO_x		0.667
CO		0.159
Compuestos orgánicos		0.852
Amonia		0.083
Subtotal	...	2.539
Emisiones líquidas		
Cloruros		0.889
Grasas		0.022
Amoníaco nitrogenado		0.022
Fosfatos		0.0001
Sólidos suspendidos		0.074
Sólidos disueltos		3.704
Metales		0.0008
Subtotal	...	4.7119
Total		7.2509

Fuente: UNEP "The Environmental Impact...", op.cit.

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

2/ Schurr, et al, "Energy in America's Future", op.cit.

/Cuadro IV-3

Cuadro IV-3

EMISIONES POR COMBUSTION DE CARBON

(Emisiones en ton/ktpe)

Emisiones gaseosas		
Partículas		1.633
SO_x		59.880
NO_x		14.698
CO		1.089
Hidrocarburos		0.218
Subtotal	...	77.518
Emisiones líquidas		
Materia orgánica		0.036
H_2SO_4		0.045
Cloro		0.014
Fosfatos		0.023
Boro		0.180
Sólidos en suspensión		0.270
Subtotal	...	0.568
Emisiones sólidas		
Cenizas		195.971
Total		274.057

Fuente: La misma del cuadro IV-2.

Cuadro IV-4

Cuadro IV-4

COMBUSTION DE PETROLEO Y DERIVADOS EN GENERACION TERMOELECTRICA Y USOS INDUSTRIALES

(Emisiones en ton/ktpe)

Emisiones gaseosas		
SO_x		18.500
NO_x		12.400
CO		0.355
Hidrocarburos		0.235
Aldehidos		0.120
Partículas		0.600
Subtotal	...	32.210
Emisiones líquidas		
Sólidos en suspensión		0.249
H_2SO_4		0.042
Cloratos		0.013
Fosfatos		0.021
Boro		0.166
Cromatos		0.001
Compuestos orgánicos		0.033
Subtotal	...	0.525
Sólidos de desecho		4.595
Total		37.330

Fuente: La misma del cuadro IV-2.

/Cuadro IV-5

Cuadro IV-5

COMBUSTION DE PETROLEO Y DERIVADOS EN TRANSPORTE Y USOS RESIDENCIALES

(Emisiones en ton/ktpe)

Emisiones gaseosas	
Monóxido de carbono	163.2
Oxidos de nitrógeno	19.9
Hidrocarburos	23.5

En las faenas de transporte marítimo de petróleo y derivados puede estimarse en base a la experiencia histórica, que por cada ktpe transportado, se derraman 5.9 k

Cuadro IV-6

COMBUSTION DE GAS NATURAL

(Emisiones en ton/ktpe)

Emisiones gaseosas		
SO_x		0.011
NO_x		11.007
Hidrocarburos		0.019
Compuestos orgánicos		0.131
Partículas		0.281
Subtotal	...	11.449
Emisiones líquidas		
Sólidos en suspensión		0.274
Compuestos orgánicos		0.036
H_2SO_4		0.046
Cloratos		0.014
Fosfatos		0.023
Boro		0.182
Cromatos		0.001
Subtotal	...	0.576
Total		12.025

Fuente: La misma del cuadro IV-2.

/Cuadro IV-7

Cuadro IV-7

EMISIONES EN GENERACION ELECTRICA GEOTERMAL

(Principales valores promedios) a/

Emisión	Cantidad (ton/ktpe)
H_2S	22.5
NH_3	5.7
CO_2	1 287.3
Total	1 315.5

a/ Cifras calculadas por los autores en base a observaciones de 5 centrales, UNEP, "The Environmental Impacts...", op.cit.

Anexo I

Petróleo y gas natural

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

Los principales usos industriales y residenciales de estos combustibles son en la generación de calor mediante calderas, hornos, secadores, etc; usos domésticos y 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 tiene asociado un daño ecológico del mar, según lo demuestran estudios de algunas zonas críticas.

En cuanto al número de accidentes, a continuación se muestran las cifras de muertes y lesionados por una cantidad de combustible pre-establecida equivalente a 1 000 MW(e) año (para explotación terrestre y submarina).

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, 1979.

a/ Se necesitan $2.5.10^7$ toneladas de petróleo crudo para producir 2.10^6 toneladas de combustible que generan 1 000 MW(e) año.

b/ Se necesitan $2.2.10^9$ m^3 de gas natural para generar 1 000 MW(e) año.

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 éstos tienen un buen record de seguridad.

La cantidad de petróleo derramado en los distintos océanos producto de las faenas de transporte, refinación y desechos industriales y urbanos para el año 1977, correspondió al $5{,}9.10^{-4}$% de producción mundial para ese mismo año.

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

El gas natural es considerado un combustible limpio, entre otras razones, porque el ácido sulfhídrico que contiene (H_2S) es extraído de él 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 se presentan las emisiones asociadas a la producción de 1 000 MW(e) año, (véase el cuadro 2). (Es necesario tratar $2{,}7.10^7$ toneladas de petróleo crudo para obtener 2.10^6 toneladas de petróleo combustible que generan 1 000 MW(e) año con un rendimiento del 38%.)

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

El efecto sobre el espacio que provoca una refinería de capacidad $1{,}5.10^7$ toneladas de petróleo/año, es el de ocupar un área de 520 hectáreas y prohibir el uso residencial en otras 520 hectáreas circundantes.

En la generación de termoelectricidad a base de petróleo combustible, se tienen 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.

El hecho que al gas natural se le llame "combutible limpio", se visualiza en el cuadro 4, al observar las emisiones de una planta termoeléctrica que consume $2{,}2.10^9$ m^3 de gas natural para generar 1 000 MW(e) año y comparar el cuadro para sus similares de carbón y 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 más importantes contaminantes (en cuanto a cantidad) dentro del sector transporte.

Cuadro 2

EMISIONES ASOCIADAS AL REFINAR $2,7.10^7$ TONELADAS DE PETROLEO CRUDO

(Toneladas)

Emisiones gaseosas	
SO_x	21 000
NO_x	18 000
CO	4 300
Compuestos orgânicos	23 000
Amonia	2 230
Subtotal	68 530
Emisiones líquidas (desecho de $1,4.10^8$ toneladas de agua que contienen disuelto o en suspensión)	
Cloruros	24 000
Grasas	600
Amoníaco nitrogenado	600
Fosfatos	3
Sólidos suspendidos	2 000
Sólidos disueltos	100 000
Metales	22
Subtotal	127 225
Total	195 755

Fuente: UNEP, "The Environmental...", op.cit.

Cuadro 3

EMISIONES EN PLANTA TERMOELECTRICA A BASE DE PETROLEO COMBUSTIBLE a/

(Toneladas)

Emisiones gaseosas	
SO_x	37 000
NO_x	24 800
CO	710
Hidrocarburos	470
Aldehídos	240
Partículas	1 200
Subtotal	64 420
Emisiones líquidas	
Sólidos en suspensión	497
H_2SO_4	83
Cloratos	26
Fosfatos	42
Boro	331
Cromatos	2
Compuestos orgánicos	66
Subtotal	1 047
Sólidos de desecho (ceniza recolectada)	9 190
Total	74 657

Fuente: UNEP, "The Environmental...", op.cit.

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 produce 1 000 MW(e) año.

Cuadro 4

EMISIONES DE UNA PLANTA TERMOELECTRICA QUE CONSUME GAS NATURAL a/

(Toneladas)

Emisiones gaseosas	
SO_x	20.4
NO_x	20 000
Hidrocarburos	34
Compuestos orgánicos	238
Partículas	510
Subtotal	20 802.4
Emisiones líquidas	
Sólidos en suspensión	497
Orgánico	66
H_2SO_4	83
Cloratos	26
Fosfatos	42
Boro	331
Cromatos	2
Subtotal	1 047
Total	21 849.4

Fuente: UNEP, "The Environmental...", op.cit.

a/ Una planta termoelêctrica en base a gas natural, consume $2,2.10^9$ m^3 de gas de poder calorífico 37 MJ/m3 para producir 1 000 MW(e) año (rendimiento 38%).

Cuadro 5

EMISIONES DE CONTAMINANTES ATMOSFERICOS ASOCIADAS AL CONSUMO ENERGETICO EN EL SECTOR TRANSPORTE a/

$$\left(\frac{\text{Kg contaminante}}{\text{tpe consumida en el sector}}\right)$$

Contaminante	Kg/tpe
Monóxido de carbono	163.2
Oxidos de nitrógeno	19.9
Hidrocarburos	23.5

a/ Cifras calculadas a partir de estimaciones de las descargas de contaminantes atmosféricos por sector y consumos de energía (por sector y por fuente) para Estados Unidos, 1975, según R.G. Ridker, y W.D. Watson, "To Choose a Future", publicado para Resources for the Future, John Hopkins University Press, 1980.

/Anexo II

Anexo II

Carbón

Entre los principales usos actuales del carbón está 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. Previa a esta etapa de utilización final del carbón, se han efectuado transportes, almacenamientos y la extracción de las minas, donde generalmente es sometido a procesos de lavado y de regularización de su granulometría.

En cada una de las etapas, el carbón ejerce, en mayor o menor grado, una acción alterante sobre el medio ambiente.

En el futuro, es en la etapa de uso final de este combustible en que se visualizan los mayores cambios, ya que en vez de utilizarlo en su estado actual se espera gasificarlo o licuarlo, rebajando notablemente su acción contaminante, al convertirlo en un combustible limpio.

En la forma en que se usa actualmente en la etapa final, los principales agentes contaminantes expelidos a la atmósfera, producto de su combustión son: óxidos de azufre, óxidos de nitrógeno, monóxido y dióxido de carbono, compuestos orgánicos, cenizas, metales, etc. En un proceso de quemado, que se efectúa en buenas condiciones, (dada la tecnología ocupada) como la generación termoeléctrica, se tienen las emisiones hacia la atmósfera indicadas en el cuadro 1.

En el transporte de carbón el principal contaminante lo causan las fugas de polvo, estimadas (incluyendo carga y descarga) en un 0.1% de la cantidad transportad

En cuanto a la cantidad de accidentes fatales motivados por el transporte, para transportar 3.10^6 ton (equivalentes a 1 000 MW(e) año) a lo largo de una distancia normalizada de 500 kms se tienen 0.03; 0.12 y 0.01 muertes dependiendo si el trasnporte es ferroviario, marítimo, o mediante tuberías, respectivamente.

En la extracción, los principales efectos ambientales son el "drenaje ácido" d las minas que reduce o elimina la vida acuática y que es diferente para cada faena, alteración paisajística (minas de superficie) y de los asentamientos urbanos. Un efecto no cuantificado, pero capaz de efectuar grandes alteraciones en el largo plaz es el efecto de contaminación de aguas subterráneas por el ya mencionado "drenaje ácido". 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, variable de lugar en lugar.

Cuadro 1

EMISIONES DE PLANTA TERMOELECTRICA

(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
Total	503 444.7

Fuente: UNEP, "The Environmental Impacts of Production and Use of Energy. Part I. Fossil Fuels", 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). Considerando 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 que no existe desulfuración en los gases emanados.

Los accidentes asociados a la producción de 1 000 MW(e) año son, dependiendo del tipo de mina, los siguientes:

Tipo de mina	Tipo de accidente	
	Fatal	Lesiones
Superficie	0.3	16
Subterránea	0.6	45

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, conociéndose cifras de 0.03 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.

Anexo III

Biomasa

La biomasa está constituida por los recursos orgánicos susceptibles de usarse energéticamente.

Tradicionalmente la biomasa en forma de leña ha sido usada como combustible predominante en las zonas rurales, principalmente para cocinar y calefacción.

Usada como leña o como carbón vegetal, existen importantes efectos ambientales que considerar. El principal efecto es el de favorecer la desertificación al efectuarse un corte indiscriminado de bosques, situación que también se provoca, ya sea por poda excesiva de árboles y reducir su capacidad de crecimiento, al cortar árboles jóvenes reduciendo la capacidad regenerativa de los bosques, o por ralear un bosque en demasía haciéndolo en algunos casos susceptible a efectos provocados por el viento o el sol.

Una reducción de la demanda de madera para fines energéticos por parte de las cocinas domésticas rurales es perfectamente factible, ya que cambiando los artefactos tradicionales por otros más eficientes, es posible obtener el mismo servicio 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 diarias de leña (5 677 tpe diarias).

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 reducir la acción fotosintética.

Al convertir la madera en carbón vegetal se incrementa su calidad como combustible, ya que se 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.

El hecho de efectuar un buen manejo de los bosques con fines energéticos elimina los peligros de la desertificación, pero provoca la competencia con los usos agrícolas (producción de alimentos).

Cuadro 1

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	70 000
Otras emisiones	Regular cantidad
Total	70 185

a/ UNEP, "Energy Alternatives in Latin America. Study of Capabilities for the Use of Non-conventional Energy Sources" Quito, 1979.

En cuanto al uso del recurso suelo con fines energéticos, puede decirse que una plantación de 50-60 hectáreas puede abastecer de madera combustible a un pueblo de 1 000 familias (aproximadamente 125m^2/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 paquete "Biomasa-Biogás-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 cocinar, calefaccionar, iluminación y como combustible de motores que pueden generar 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 para cultivar algas que alimenten 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 provienen principalmente del manejo y almacenamiento de la materia prima del digestor, cuestiones de seguridad provenientes de la manipulación del gas combustible, en menor grado el manejo de los desechos líquidos del digestor y requerimientos de terreno.

El uso de la biomasa para la producción del alcohol etílico ya se hace masivamente en Brasil, donde el alcohol se mezcla con gasolina. Esto mejora las propiedades de la gasolina disminuyendo las emisiones de los vehículos y mejorando el rendimiento de los motores.

El cultivo de la materia prima (caña de azúcar, cassava, etc.) provoca requerimientos de terreno, agua y fertilizantes, efectúa una presión sobre la productividad del suelo y una competitividad con el suelo productor de alimentos. La obtención del etanol mismo a partir de la caña de azúcar, por ejemplo, tiene asociada la producción de "stillage" en los procesos de destilación en un volumen superior en 12 a 13 veces la cantidad de etanol obtenido.

/Anexo IV

Anexo IV

Energía nuclear

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

No pretendiéndose en el presente estudio describir exhaustivamente los efectos ambientales de este recurso energético, se presentan a continuación algunos datos y cifras relacionados con los efectos que se han estimado 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, ello implica que es necesario remover aproximadamente 3.10^6 toneladas de material.1/

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).2/

El mismo informe 1/ 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 10.00.3/ La cifra baja corresponde a una hipótesis optimista adoptada en el que se conoce como informe Rasmussen,4/ que ha sido motivo de gran controversia; el valor más alto proviene de otro estudio que adopta hipótesis pesimistas.5/

1/ UNDP-UNEP-OLADE, "Energy Alternatives in Latin America: Study of Capabilities for the Use of Non-conventional Energy Sources", 1979.

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

3/ Ridker, R. y Watson, W., "To Choose a Future", Johns Hopkins University Press, 1980.

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

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

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.1/ 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 2 000,2/ produce anualmente 13.10^6 Ci 3/ de desechos radioactivos y que la cantidad de desechos acumulados a ese mismo año sería del orden de 300.10^9 Ci.4/ Tales desechos contienen, entre muchos otros elementos, Plutonio 239, material fisionable que, recuperado, puede emplearse como combustible nuclear o destinársele a la fabricación de explosivos nucleares.

Otro aspecto ambiental dice relación con la ocupación de terreno. De acuerdo a la experiencia existente, el promedio se encuentra alrededor de las 40 ha/ 1 000 MW(e). Los sistemas de enfriamiento, que también se requieren 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.5/

En forma global, se estima que la industria nuclear de los Estados Unidos asociada a la tecnología de los LWR 6/ representa un riesgo de mortalidad por cáncer de 0.12 y 0.20 por 1 000 MW(e) año para la población y los trabajadores, respectivamente. En la última cifra el riesgo derivado de la operación de las centrales nucleares equivale aproximadamente a la mitad.5/

1/ UNDP-UNEP-OLADE, "Study of Capabilities...", op.cit.
2/ Landsberg, H., et al., "Energy: The Next Twenty Years", Ballinger, 1979.
3/ 1 Ci (Curie) es el equivalente radioactivo de 1 g de Radium.
4/ Cifras obtenidas de un gráfico en D. Meadows et al., "The Limits to Growth" 1972.
5/ UNEP, "The Environmental Impacts..., Part II ...", op.cit.
6/ LWR: reactores que utilizan como combustible uranio enriquecido y agua liviana como refrigerante y moderador.

/Anexo V

Anexo V

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 en que es aprovechado el recurso. En los pozos en los cuales el calor es captado por un intercambiador y el agua es luego reinyectada, la contaminación atmosférica está ausente; si el agua y el vapor son expulsados a la atmósfera, la contaminación puede alcanzar niveles elevados.

El desarrollo intensivo de un área geotermal presenta requerimientos del mismo tipo que cualquier gran operación de ingeniería civil (caminos, construcciones, campamentos, acumulación de equipos, etc.), de los cuales cabría destacar el requerimiento de espacio. El área total involucrada en un campo geotermal de alta temperatura es del orden de 1 km^2 por cada 25 a 50 MW(e).1/

El impacto del desarrollo geotérmico en la fertilidad del suelo parecer ser mínimo; en cuanto a la erosión de los terrenos, ésta puede esperarse en zonas blandas en algún grado, 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. Existen ácido sulfhídrico, dióxido de carbono, amoníaco, hidrógeno y metano, pequeñas cantidades de mercurio, selenio y arsénico; la radioactividad prácticamente no existe.

Se muestran a continuación 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 termico 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, motivando que la eficiencia térmica baje a aproximadamente el 14%,2/ rechazándose al medio ambiente el 86% del calor restante.

1/ UNEP, "The environmental impacts ...", op. cit.

2/ UNEP, "Energy Alternatives ...", op. cit.

Cuadro 1

PLANTA GEOTERMICA DE POTENCIA: PRINCIPALES EMISIONES ATMOSFERICAS

(Ton/1 000 MW(e) año) a/ b/

Contaminante	Valor Máximo	Valor Mínimo	Valor Medio
H_2S	60 000	3 000	34 600
NH_3	17 000	500	8 700
CO_2	4 000 000	80 000	1 976 000

a/ En base a observaciones en The Geysers, Larderello, Wairakei, Broadlands y Cerro Prieto. Como información ilustrativa téngase presente que una planta de 100 MW(e) en un campo predominante en vapor, requiere aproximadamente 10^7 toneladas de fluido por año.

b/ UNEP, "Energy Alternatives ...", op. cit.

Cabría también considerar otro impacto potencial serio: el hundimiento del terreno como resultado de la extracción de fluidos geotermales del campo. Por ejemplo, en Wairakei, Nueva Zelandia, 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 km^2.1/

1/ UNEP, "Energy Alternatives ...", op. cit.

Anexo VI

Energía solar

La aplicación de la energía solar para satisfacer las necesidades residenciales de calor a baja temperatura reduce la demanda de combustibles fósiles, y por lo tanto la contaminación asociada a ellos. Si bien 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), se considera importante su efecto en el ahorro de los combustibles tradicionales.

En el futuro se prevé la construcción de centrales eléctricas solares. Este caso difiere del residencial en que los colectores pueden ubicarse en los techos po ejemplo, no requiriéndose grandes espacios dado el carácter descentralizado y de menor calidad 1/ de la energía necesaria. Una central eléctrica necesariamente requiere 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/m^2 en las mejores condiciones), se requieren extensas áreas de captación. Una planta de 1 000 MW(e) de potencia requiere una superficie de 30 km^2 aproximadamente.

El efecto de requerir superficies colectoras, modifica el paisaje o la apariencia de las viviendas (helioarquitectura). 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 2/).

Otro efecto señalado 2/ es el de provocar modificaciones en el microclima al no ser absorbida la radiación por el suelo, alterando la temperatura de la superficie y del aire, la velocidad de los vientos, etc.

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

2/ UNEP, "The Environmental Impacts ...", op. cit.

/Anexo VII

Anexo VII

Hidroelectricidad

Se mencionan numerosos impactos ambientales provocados por los desarrollos hidroeléctricos: todos los posibles efectos físicos, biológicos y socioeconómicos derivados de la implantación de una presa (que es la obra dominante).

Por ejemplo, la acumulación de sedimentos dentro del embalse con la consiguiente alteración de la cantidad de sustancias nutrientes aguas abajo, modificaciones del ciclo hidrológico, trastornos en la vida vegetal y animal, desplazamiento de comunidades humanas desde las zonas inundadas, aumento del riesgo sísmico, etc.

Sin desconocer la importancia que en situaciones particulares pueden tener impactos potenciales sobre el ambiente como los mencionados, pareciera ser el más significativo el que dice relación con el uso del espacio.

Sobre la base de información contenida en 1/, se han calculado los requerimientos 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 m^2/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 requerimientos de espacio de otros tipos de centrales) se obtienen aproximadamente 30 000 m^2/ktpe.

Otros autores, 2/ al comparar entre centrales solares e hidráulicas lo que denominan productividad del espacio, indican para estas últimas el valor 0.0675 MWh(e) año/m^2 (que es equivalente a unos 60 000 m^2/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 los desarrollos hidroeléctricos.

1/ UNEP, "The Environmental Impacts ...", 1979.
2/ M. Claverie y C. Eteviant, "Les aspects économiques des centrales solaires à tour", en Révue de l'Energie, 313, marzo 1979.