

REVISTA ENERGETICA ENERGY MAGAZINE



ORGANIZACION LATINOAMERICANA DE ENERGIA LATIN AMERICAN ENERGY ORGANIZATION

UNA ESTRATEGIA ENERGETICA GLOBAL ORIENTADA A USOS FINALES

AN END-USE- ORIENTED GLOBAL ENERGY STRATEGY

*José Goldemberg, Thomas B. Johansson,
Amulya K.N. Reddy, Robert H. Williams*

PAPEL DE LAS INSTITUCIONES RESPONSABLES EN LAS ACTIVIDADES PETROLERAS DE AMERICA LATINA

**ROLE OF THE INSTITUTIONS RESPONSIBLE FOR PETRO-
LEUM ACTIVITIES IN LATIN AMERICA**

*Eduardo Ortíz Monasterio,
Conrado Schlaepter Pedrazzini*

MEXICO Y CANADA EN EL MERCADO INTERNACIONAL DE GAS NATURAL

**MEXICO AND CANADA IN THE INTERNATIONAL MARKET
FOR NATURAL GAS**

Gonzalo A. Bravo Vera

AÑO 9. N° 2 AGOSTO 1985

YEAR 9 N° 2 AUGUST 1985

UNA ESTRATEGIA ENERGETICA GLOBAL ORIENTADA A USOS FINALES*

José Goldemberg^{a/}, Thomas B. Johansson^{b/},
Amulya K.N. Reddy^{c/}, Robert H. Williams^{d/}

INTRODUCCION

Es creencia general que, a la tasa actual de consumo, los recursos disponibles de petróleo a nivel mundial que pueden ser recuperados alcanzan aproximadamente para un abastecimiento de 100 años. Las dos terceras partes de estos recursos están ubicados en los países del Medio Oriente/Norte del Africa (MO/NAf) y en los países de economías centralmente planificadas, mientras que el resto del mundo dispondría de recursos para un abastecimiento cercano a los 40 años. Estas cifras indican el carácter efímero del actual excedente de petróleo y resaltan la necesidad de iniciar una transición energética global.

La mitad de la población mundial dispersa en las zonas rurales de los países en vías de desarrollo, utiliza poco el petróleo, pero igualmente se encuentra en medio de una crisis energética. Esta franja de la población depende en gran parte de la biomasa para su consumo de energía—principalmente la leña, utilizada para la cocción. Ha surgido una crisis de la leña porque en muchas áreas su mayor demanda, asociada con el crecimiento de la población, está excediendo la tasa de su regeneración. En la actualidad, unos 100 millones de seres humanos sufren de una escasez aguda de leña, y otros mil millones de un déficit (1).

Estas consideraciones respecto a la oferta de petróleo y de leña indican claramente que la energía es uno de los principales problemas del globo. Pero la energía es sólo uno de los problemas más importan-

* PRIMERA DE UNA SERIE DE TRES ENTREGAS

a/ Presidente, Compañía Energética de Sao Paulo, Brasil

b/ Universidad de Lund, Suecia

c/ Universidad de Bangalore, India

d/ Universidad de Princeton, EE.UU.

tes a nivel mundial, sobresaliendo entre los más apremiantes de la crisis económica, los conflictos Norte/Sur, la extensa pobreza en los países en desarrollo, el crecimiento de la población, la escasez de alimentos, el riesgo de una guerra nuclear, la proliferación de las armas nucleares, el papel del hombre en los cambios del clima global, la degradación ambiental, la deforestación y la desertificación. Si la humanidad aspira a una sociedad sostenible a largo plazo, cada uno de estos problemas debe ser resuelto. El presente trabajo reconoce que todos estos problemas tienen fuertes vínculos con la energía, y que la búsqueda de soluciones al problema energético sin considerar dichos vínculos podría agravar los otros.

En la Sección 2, se ampliará el tema de los vínculos energéticos con los demás problemas importantes a nivel global. Luego, en la Sección 2, se examinarán los resultados de algunos estudios energéticos globales, se discutirán algunos aspectos metodológicos de estos esfuerzos y se presentará nuestro enfoque para la exploración de perspectivas con el fin de alcanzar un futuro energético mundial sostenible. Finalmente, en las Secciones 4 a 6, se tratarán los resultados de nuestro propio estudio energético global, orientado al uso final.

EL PAPEL DE LA ENERGIA EN LA SOLUCION DE OTROS PROBLEMAS GLOBALES

Esta sección identifica los vínculos de otros problemas globales con la energía e indica los aportes potenciales de la planificación energética a su solución.

La Crisis Económica

La última década ha sido un período de inflación galopante, gran recesión global, marcado desempleo, aumentos vertiginosos de las tasas reales de interés y una crisis de deuda internacional que podría conducir al colapso del sistema financiero mundial si no son cubiertas las deudas del mundo en desarrollo.

La energía costosa ha sido uno de los factores que han contribuido a estos problemas. En 1981 los países en desarrollo de bajos y medianos ingresos gastaron en importaciones de petróleo un promedio del 61% y 37% de sus ingresos por exportaciones, respectivamente (2). Además, por lo general es mucho más costosa la energía proveniente de fuentes nuevas que la actualmente producida. Por ejemplo en EE. UU. entre 1972 y 1982, los desembolsos de capital orientados al suministro de energía aumentaron del 26% al 39% del total de las erogaciones en nuevas plantas y equipos (3), sin experimentar virtual-

mente ningún incremento neto en la producción interna de energía durante el período. En los países en desarrollo, las inversiones destinadas a la expansión de la oferta energética aumentaron durante la década del 70 de un rango de 1 a 2 por ciento al rango de 2 a 3 por ciento del PIB (4), requiriendo en 1982 unos US\$ 25 mil millones de divisas —más de la tercera parte de las divisas utilizadas en todo tipo de inversión (4). Al destinar tanto capital al suministro de energía, se hace más escaso el capital disponible para otras actividades económicas.

Si la expansión de la oferta energética continúa siendo enfatizada como la principal manera de suministrar servicios energéticos, la carga económica de la provisión de energía en el futuro podrá ser aún mayor que la indicada por la experiencia reciente.

Ante la concentración de recursos petroleros en la región del Golfo Pérsico, aún con incrementos módicos en la demanda del petróleo a nivel mundial, se podría conducir a aumentos muy grandes en el precio de este producto. En 1983 el Departamento de Energía de los Estados Unidos proyectó que el precio mundial del petróleo aumentaría de US\$ 34 por barril en 1982, a una cifra entre los US\$ 55 y US\$ 111 por barril para el 2010, considerando un aumento del 13 al 24% en la demanda mundial de petróleo para dicho período (5), lo cual, una vez más, llevaría a la producción de la OPEP hasta casi el nivel de 1979, cuando las condiciones difíciles del mercado hicieron posible el segundo "choque" petrolero mundial, al iniciarse la Revolución Iraníe.

Para los países en desarrollo, las estrategias para la expansión de la oferta energética para lograr las metas de desarrollo serán especialmente costosas. El Banco Mundial en 1983 estimó que, para aumentar la utilización per cápita de la energía comercial, de 0,54 a 0,78 kW entre 1980 y 1995, las inversiones en el abastecimiento energético para todos los países en desarrollo tendrían que ser de un promedio de US\$ 130 mil millones anuales (en dólares de 1982) entre 1982 y 1995 (o sea, 4% del PIB agregado). La mitad de esa inversión tendría que venir del ingreso de divisas, requiriendo un aumento promedio anual del 15% en las asignaciones reales de divisas para la expansión de la oferta energética en dicho período. Y a pesar de esta meta para los esfuerzos por expandir la oferta energética, el Banco Mundial proyectó que las importaciones de los países en desarrollo importadores de petróleo todavía aumentarían con casi una tercera parte adicional, o sea a casi 8 millones de barriles por día en 1995 (4). Los abrumadores costos de suministrar estos servicios energéticos llevaría a muchos a creer (pero rara vez plantear) que no es factible mejorar el nivel de vida de manera sustancial en los países en desarrollo.

Pero los costos de suministrar servicios energéticos no tienen que ser tan altos como los sugeridos por estas proyecciones. Los costos de la energía pueden controlarse, si se enfatizan en la planificación energética esfuerzos encaminados al suministro de servicios energéticos (para la cocción, iluminación, acondicionamiento ambiental, fuerza mecánica, movilización, etc.) con el menor costo social total. El costo de la provisión de tales servicios a menudo puede ser reducido a través de inversiones en el mejoramiento de la eficiencia energética, tanto en los países industrializados (6) como en los en desarrollo (7). Esto también puede implicar un precio mundial más bajo para el petróleo, si la demanda mundial de éste es lo suficientemente reducida como para evitar condiciones de ajuste en el mercado mundial (Fig. 1).¹ Los precios serán también menores para otros energéticos, a tal grado que no se necesitarán fuentes costosas de energía. De esta manera, la planificación energética podría contribuir a una mejor eficiencia y bienestar económico.

Conflictos Norte/Sur

Los países pobres del "Sur" representan las 3/4 partes de la población mundial pero tienen ingresos per cápita, en promedio, de sólo 1/10 de los de los países ricos del "Norte". Esta disparidad de ingresos es un factor crucial, responsable de la grave crisis que caracteriza la economía mundial, y que continúa empeorándose. Problemas tales como el deterioro de los precios de los productos, barreras proteccionistas del Norte contra las industrias emergentes de manufacturas del Sur y vulnerabilidad de los deudores sureños ante las crecientes tasas de interés, debido a su dependencia de préstamos de tasas variables, han colocado a los países en desarrollo en desventaja en el mercado mundial.

La solución de los conflictos Norte/Sur es trabajar hacia la erradicación de las disparidades que dan origen a los conflictos, a través de políticas que fomenten el desarrollo de los países en desarrollo —incluyendo políticas que ayudarían a poner precios más cómodos a la energía requerida para lograr las metas de desarrollo.

La Pobreza en los Países en Desarrollo

No sólo son grandes las disparidades "Norte/Sur", sino que también existen enormes disparidades dentro de los países en desarrollo: entre las élites que representan el 10% de la población y 1/3 a 1/2 de todos los ingresos, y el resto de la población, que vive en la miseria. Ha fracasado el enfoque tradicional para abordar el problema de la pobreza; este enfoque se fundamentaba en maximizar el crecimiento económico y esperar que los beneficios llegaran "gota a gota" para ayudar a los pobres.

Una política cuyo objetivo es la satisfacción de las necesidades humanas básicas de alimento, vivienda, servicios sanitarios, salud, educación y empleo, es más prometedora (8, 9, 10). Ya que la satisfacción de esas necesidades requiere de servicios energéticos, la provisión de los servicios tiene que ser una de las metas de los esfuerzos de desarrollo.

Crecimiento Poblacional

La explosión demográfica está estrechamente vinculada con el problema de la pobreza, ya que la economía de las grandes familias tiende a ser favorable para los pobres (2). Es así como los esfuerzos por resolver el problema demográfico recibiría asistencia al buscar satisfacer las necesidades humanas básicas de los pobres.

Escasez de Alimentos

Independiente del éxito logrado en la desaceleración del crecimiento demográfico, la alimentación de una población creciente continuará como uno de los principales desafíos globales por varias décadas. La modernización de la agricultura, y los insumos energéticos cada vez mayores, son vitales en el cumplimiento de las metas de producción de alimentos. La FAO ha estimado que la producción de alimentos en los países en desarrollo tiene que duplicarse para el año 2000, para lo cual se requiere de un equivalente energético de 2,8 millones de barriles de petróleo por día adicionales (11). Toda vez que ésta es menos que la cantidad de petróleo ahorrada sólo por EE.UU. entre 1978 y 1982, está claro que el desafío tiene menos que ver con la cantidad de energía requerida, que con la disponibilidad asegurada de un abastecimiento para satisfacer las necesidades agrícolas.

El Riesgo de una Guerra Nuclear

El hecho de que un conflicto en el Medio Oriente puede involucrar a las superpotencias y amenazar con una guerra nuclear, está indicado en la experiencia de octubre de 1973, cuando la Unión Soviética amenazó con intervenir en la Guerra Arabe-Israelí y los Estados Unidos, en respuesta, puso en alerta a sus fuerzas nucleares (12). La creación de la Fuerza de Despliegue Rápido de EE.UU., para asegurar el permanente acceso de las economías industrializadas de mercado al petróleo del Golfo Pérsico, y la presencia de fuerzas soviéticas móviles en la región, indican la continua posibilidad de un conflicto EE.UU./URSS surgido de los trastornos del Medio Oriente. El potencial para un conflicto de superpotencias se puede reducir si dichas economías llegan a ser menos dependientes del petróleo del Golfo Pérsico.

Proliferación de las Armas Nucleares

En 1964 EE.UU., la URSS, Francia y Gran Bretaña fueron los únicos estados con armas nucleares en el mundo. Desde entonces, la China y la India han adquirido armas nucleares, y varios otros países o han logrado o están por lograr la capacidad de producir este tipo de armas. En las décadas venideras, muchos otros países podrían ingresar al “club nuclear” —particularmente si la energía nuclear se convierte en uno de los principales recursos energéticos.

Surge un vínculo indisoluble entre las armas nucleares y la energía nuclear por lo que el plutonio, un material utilizable en armas nucleares, se produce en cantidades sustanciales en los reactores nucleares. No existe ninguna manera técnica de eliminar este vínculo, a menos que se evite la dependencia de las tecnologías problemáticas involucradas.

El riesgo de proliferación aumenta enormemente si el plutonio es recuperado del combustible gastado del reactor y reciclado en un combustible fresco. Si un estado sin armas nucleares adquiere la tecnología del reciclaje de plutonio, obtiene casi toda la tecnología y materiales requeridos para hacer armas nucleares rápidamente, sin jamás tener que tomar la decisión explícita de adquirir armamentos nucleares. Esta ruta a las armas nucleares, que ha llegado a llamarse “proliferación latente” (13), es una ruta particularmente peligrosa a la proliferación, involucrando bajos riesgos para el proliferador potencial.

El riesgo de la proliferación se puede reducir mucho si se evitan los ciclos de combustible nuclear que implican el reprocesamiento del combustible gastado del reactor y el reciclaje del plutonio recuperado. Para que la proliferación pueda ser eficazmente frenada, tales ciclos de combustible tendrían que evitarse en todos los países, incluyendo los estados con armas nucleares, ya que cualquier sistema de dos clases que discrimine contra los países juzgados como tendientes a la proliferación, a final de cuentas resultará inestable (14).

Puede permanecer bajo el incentivo para reprocesar el combustible consumido y reciclar el plutonio si los precios del uranio no suben demasiado, lo que a su vez sería el caso si el desarrollo mundial de la energía nuclear fuera lo suficientemente lento, o sea, si la energía nuclear fuera considerada como una tecnología energética de última instancia.

Las restricciones tecnológicas para el alcance y carácter de los programas de energía nuclear por sí solas no podrían poner fin a esta “proliferación horizontal” de la capacidad de armas nucleares en muchos países. Mientras que exista una “proliferación vertical” por parte de

las superpotencias, ocasionada por el sentir que su seguridad se ve mejorada al tener armas nucleares, otras naciones también querrán armas nucleares. La única manera de evitar un mundo en que las armas nucleares proliferen, tanto horizontal como verticalmente, es evitar las tecnologías peligrosas de la energía nuclear y a la vez realizar esfuerzos para que las superpotencias se alejen de la dependencia de armas de destrucción masiva para garantizar su seguridad (14).

Cambios Climáticos Globales

En cuestión de décadas, el hombre podría originar grandes cambios en el clima global debido a actividades que conducen a la acumulación de dióxido de carbono en la atmósfera, con el resultante "efecto de invernadero". Este problema se relaciona estrechamente con la energía porque la principal fuente de esta acumulación es la quema de combustibles fósiles. Ya en 1979, el nivel de CO₂ en la atmósfera fue 1,15 veces el nivel preindustrial, ó 334 ppm. Los climatólogos creen que con la duplicación del nivel de CO₂ habría un aumento de $3 \pm 1,5^{\circ}\text{C}$ en la temperatura global, y quizás un calentamiento dos a tres veces mayor en los polos. Se estima que la consecuente desaceleración del "motor térmico atmosférico" asociado con las tasas diferenciales del calentamiento de la línea ecuatorial y de los polos conduciría a cambios significativos en los patrones globales del tiempo (15). Los aportes al calentamiento atmosférico de otras trazas de sustancias radioactivas (15) amplifican las inquietudes en cuanto a la acumulación de dióxido de carbono en la atmósfera.

Parece que no existen técnicas de corrección factibles para el problema del CO₂ (16). La magnitud del cambio climático prospectivo mejor se puede reducir al no depender demasiado de los combustibles fósiles.

Deforestación y Desertificación

Entre 1952 y 1972 los bosques del mundo se extinguieron a una tasa media anual de unos 30 millones de hectáreas por año (17), mientras que las tierras cultivadas y los pastizales perdidos a la desertificación tuvieron un promedio de 6 millones de hectáreas por año (18). La deforestación surge de la permanente desmatamiento de los bosques por la agricultura, de la recolección de leña y de otra sobreutilización de las tierras marginales para fines agrícolas, especialmente el pasto para animales. Se necesitan esfuerzos para invertir estas tendencias —tanto por razones medio-ambientales como económicas. Los recursos de leña se podrían utilizar de manera renovable si los niveles de la demanda fueran mantenidos por debajo de la tasa de regeneración, vía uso más eficiente, basado en la mejor administración de los bosques. Las

tendencias, hacia la desertificación se podrían aminorar si la producción agrícola, incluyendo el pasto para animales, fuera desplazada de tierras marginales a tierras mejoradas, a través del uso de técnicas agrícolas modernas, intensivas en energía y de mayor rendimiento, siendo ésta una perspectiva prometedora ya que sólo la tercera parte de todas las tierras cultivables está bajo el régimen de una producción altamente mecanizada (comunicación personal al señor R. Williams de D. Pimentel, Universidad de Cornell, 19 de febrero de 1985) y en los países en desarrollo los insumos de fertilizantes por hectárea llegan a promediar sólo el 40% de los niveles de los países industrializados (19).

Compensaciones ("Trade - offs")

Creemos que la mayoría de la gente está de acuerdo que sería deseable perseguir estrategias energéticas globales consistentes con, o que coadyuvan a, las soluciones de los otros problemas globales antes descritos, o más específicamente, que las estrategias energéticas deberían contribuir al logro de metas más amplias de la sociedad: eficiencia económica, equidad, sanidad ambiental, bienestar a largo plazo y, en esencia, paz —metas que tienen que ser perseguidas para lograr una sociedad sostenible.

Nuestro proyecto energético global y permanente orientado al uso final —algunos de los principales resultados del cual están reportados en el presente documento— nos lleva a ser optimistas y creer que sí es factible evolucionar estrategias energéticas globales para el largo plazo, consistentes con el logro de una sociedad mundial sostenible.

Este optimismo no es ampliamente compartido. Muchos son escépticos de que sea posible satisfacer todos estos objetivos simultáneamente, debido a las inevitables "compensaciones". La preocupación por la equidad, por ejemplo, sugiere a algunos que grandes aumentos globales son requeridos en la utilización de la energía para llevar a la mayoría de la población mundial a un nivel decente de vida —el logro de lo cual tiene que tener precedencia sobre las preocupaciones ambientales y de seguridad. Otros han argumentado que los riesgos para el medio ambiente y para la seguridad de la sociedad global modernizante pesan más que los beneficios.

La noción de que tenemos que aprender a vivir en un mundo mucho más problemático, como el precio del progreso humano, se destaca como el tema implícito en muchos de los estudios recientes sobre el problema energético a largo plazo.

ALGUNOS ESTUDIOS ENERGETICOS GLOBALES

Existen varias razones por estudiar el futuro energético a largo plazo:

- Como insumo para toda actividad económica, la energía se necesita para realizar las metas de desarrollo de los países en vías de desarrollo y para permitir el bienestar económico continuo de los países industrializados.
- Se requiere de una mayor comprensión de las necesidades energéticas a largo plazo como parte de la base de información para la toma de decisiones de inversión, las cuales se caracterizan por largos períodos de gestación y bajos niveles de rendimiento en la exploración energética, desarrollo de la oferta de energía, tecnología para el transporte y conversión de energía y equipos consumidores de energía.
- También se necesita información sobre el largo plazo para ayudar a formular políticas energéticas y programas de investigación y desarrollo.
- Ya que los recursos petroleros que quedan son bastante limitados, se tiene que iniciar una transición para dejar atrás al petróleo en las décadas venideras. De este hecho surge interés en la comprensión de cómo el futuro sistema energético mundial será diferente al del presente.
- Recientemente ha existido considerable interés en la mejor comprensión de los efectos colaterales de la producción y uso de la energía —el problema del dióxido de carbono en la atmósfera— y las opciones para hacer frente a ellos.

En esta sección se hará un breve repaso de algunos de los estudios energéticos más recientes, cada uno de los cuales han sido motivados por una o más de estas inquietudes. Se enfocan los estudios publicados desde el segundo aumento del precio del petróleo, en 1979. Algunas características claves de los estudios considerados y de nuestro propio análisis están presentadas en la Tabla 1.

El Estudio del IIASA, 1981

Entre 1973 y 1979 el Grupo del Programa de Sistemas Energéticos del Instituto Internacional para el Análisis de Sistemas Aplicados (IIASA), realizó uno de los principales estudios del problema energético global, bajo la dirección de Wolf Haefele. Más de 140 científicos de 20 países participaron en este esfuerzo, que tuvo un presupuesto por encima de los US\$ 6,5 millones. Los resultados del estudio han sido

reportados en un gran número de informes y artículos, y en un libro de 1981(20). De todos los análisis energéticos globales que han sido realizados, éste ha llamado quizás la mayor atención, no sólo de parte de los analistas energéticos sino también de la comunidad más amplia de la ciudadanía. En los acalorados debates de finales de la década del 70, este proyecto llegó a simbolizar el "difícil" futuro energético, distinto al futuro "suave" promovido principalmente por Lovins et. al. (21).

El estudio del IASA hace proyecciones para los años 2000 y 2030, agregando las proyecciones para siete regiones del mundo y enfocando principalmente la energía comercial. El punto de partida para el estudio es un análisis de la demanda de energía en el presente y el futuro, altamente desagregado por usos finales de la energía. Dicho análisis se basó en el uso del modelo MEDEE-2 desarrollado en la Universidad de Grenoble (22) y adaptado a la evaluación energética global del IASA por Lapillone (23). La futura demanda energética para los diversos usos finales se estima en base a la correlación de los niveles de actividad (por ej., pasajero-kilómetro de recorrido), con varios parámetros económicos y demográficos, y especificación del rendimiento energético de los sistemas tecnológicos involucrados. Dado un grupo de niveles de demanda de energía, determinado por medio del modelo MEDEE-2, se utilizó un modelo llamado "MESSAGE" para calcular la oferta energética menos costosa que cumpliera con los niveles de consumo especificados. Luego se utilizó otro modelo llamado "IMPACT" para calcular las necesidades de inversión de capital, mano de obra, tierras, agua, materiales, equipos y energía adicional. Finalmente, IMPACT modificó los supuestos económicos originales para asegurar consistencia.

En el análisis del IASA los escenarios energéticos alto y bajo generados para el año 2030 se refieren a niveles de utilización de energía primaria de 35 y 22 TW —o sea, 3,5 y 2 veces el nivel de consumo energético de 1980— asociados con las tasas de crecimiento del PIB globales de 3,4% y 2.3% por año, respectivamente (Tabla 1).

Tales niveles sólo se pueden cumplir con una masiva expansión tanto de los sistemas basados en los combustibles fósiles como en el nuclear. De hecho, el logro de los niveles de abastecimiento energético planteados requeriría:

- cada mes a dos meses, una nueva capacidad de producción de combustibles fósiles, equivalente a la puesta en marcha de un nuevo oleoducto tipo Alaska (2 millones de barriles de equivalente de petróleo por día);

- cada 2 a 3,5 días, una nueva planta nuclear de 1 GWe.

Cualquier persona conocedora de los problemas de estructurar una nueva capacidad de abastecimiento energético se dará cuenta de lo difícil que sería lograr estas metas de producción.

Además, el desarrollo de una oferta energética de la escala prevista por estas proyecciones, estaría en fuerte conflicto con muchas de las otras preocupaciones globales tratadas en la sección anterior.

Los dos escenarios involucran niveles tan altos de demanda global de petróleo en el año 2030 que la región Medio/Oriente/Norte del África, tiene que producir al nivel estimado por los analistas del IIASA como el de máxima producción potencial de la región, unos 34 millones de barriles por día—es decir, a más del doble de la producción media para el período 1982-84. Esto implica un regreso a las ajustadas condiciones de abastecimiento de petróleo que sirvió de base para los aumentos del precio mundial del petróleo en la década de los 70, y una vez más a una condición de inseguridad global, como consecuencia de la sobredependencia del petróleo del Golfo Pérsico.

Las proyecciones para la utilización de los combustibles fósiles en el futuro implican que el nivel del dióxido de carbono en la atmósfera se duplicaría en la segunda mitad del siglo XXI, con los consecuentes cambios climatológicos (15).

Las proyecciones de energía nuclear en estos estudios implican un serio riesgo de proliferación de las armas nucleares; por ejemplo, las proyecciones nucleares indican que para el año 2030 había entre 2, 6 y 4,0 millones de kg de plutonio recuperado del combustible gastado de reactores y circulado todos los años en el comercio internacional. Para efectos de comparación se requieren unos 5-10 kg para hacer una arma nuclear.

A pesar de las preocupantes implicaciones de las proyecciones energéticas del IIASA, el Líder del Programa de Sistemas Energéticos del IIASA, Wolf Haefele, y Hans-Holger Rogner han argumentado que las inquietudes sobre las externalidades deben subordinarse a la meta más importante de dar un nivel decente de vida a las mayorías indigentes del mundo (24):

“Finalmente, dirijámonos al fondo del problema: la vieja controversia de los caminos ‘suave’ y ‘difícil’ de la energía. No somos lo suficientemente blandos como para sugerir a “los-que-no-tienen” del mundo, quienes viven en la actualidad con un consumo energético per cápita medio de 0,2 kW-años/año, que no pueden

esperar más que, digamos, un consumo per cápita de 0,6 kW-años/año, mientras que en América del Norte el consumo per cápita medio es de unos 10 kW-años/año y en Europa unos 5 kW-años/año. Esta no es ninguna base para una política global saludable. Nos negamos a prescribir para "los -que-no-tienen" cómo vivir, especialmente bajo estas circunstancias. Ni deseamos vivir con un consumo per cápita de 0,6 kW-años/año. De hecho, creemos que a toda la gente se le debe dar la energía que necesita y permitirle que elija para sí misma su forma de vida. No queremos transformar o cambiar las sociedades. Sí queremos el desarrollo libre, restringido sólo en el grado que sea inevitable. De hecho, con ocho mil millones de personas en el año 2030, un consumo energético per cápita de 2 kW-años/año resultaría en 16 TW-años/año; 3 kW-años/año en 24 TW-años/año; y 4 kW-años/año en 32 TW-años/año. Sí, consideramos un consumo per cápita medio global entre 3 kW-años/año y 4 kW-años/año como una cifra razonable. Ella está de acuerdo con los escenarios energéticos del IIASA".

De hecho, las consideraciones de equidad global tienen que desempeñar un papel importante en la formulación de estrategias energéticas de largo plazo, si el mundo va a evolucionar hacia un estado más estable de política Norte/Sur. Sin embargo, al no distinguir entre los servicios energéticos y la utilización de energía como tal, los analistas del IIASA no han puesto un caso contundente de que es necesario aumentar la oferta energética de la manera y en el grado que ellos visualizan, para originar un mundo de prosperidad generalizada. Además, las proyecciones del IIASA no indican un patrón más equitativo de uso global de la energía en 2030 que en 1980: más de la mitad del incremento en el uso energético global anual durante 1980-2030 correspondería a los países industrializados (Tabla 1), siendo ésta una receta para tensiones Norte/Sur aún mayores que las actuales.

Mientras que los analistas del IIASA insisten en que sus escenarios son robustos, la gama de futuros energéticos factibles es seguramente mucho más amplia que la gama comprendida por sus escenarios. Un análisis reciente de las metodologías del IIASA, por Keepin (25), indica que las ofertas energéticas óptimas a que se llegaron en el análisis del IIASA deben considerarse con cautela. Keepin informa que "el contenido más importante de los escenarios es efectivamente prescrito (antes de prender la computadora), en la forma de proyecciones supuestas su-

ministradas como entradas en los modelos energéticos matemáticos. Mientras tanto, los propios modelos computarizados efectúan un análisis heurístico sencillo que reproduce los diversos supuestos de las entradas, con pocas alteraciones". Además, "...los escenarios del IIASA no son robustos con respecto a cambios menores en varios datos de entrada... se encuentra que los escenarios para la oferta energética son fuertemente dependientes de supuestos arbitrarios (y en algunos casos improbables) sobre el futuro costo y disponibilidad de las fuentes de energía y las tecnologías de suministro. Pequeños cambios en estos supuestos (tales como aumentos de costo que ya han sido observados en realidad) pueden arrojar escenarios sumamente distintos a los modelos".

Como indica nuestro propio análisis en secciones posteriores, niveles de demanda energética mucho más bajos que los proyectados en los escenarios del IIASA pueden ser consistentes con el logro de ambiciosas metas económicas. Tales futuros energéticos bajos son factibles en parte debido al permanente cambio hacia actividades económicas menos intensivas en energía en los países industrializados —un cambio que se trata, pero que no se toma adecuadamente en cuenta, en el análisis numérico del estudio. El otro factor importante que hace factible tales futuros es la amplia gama de oportunidades para utilizar la energía más eficiente tanto en los países industrializados como en los en vías de desarrollo.

Mientras que los analistas del IIASA aseveran que las fuertes tendencias hacia la conservación de la energía estaban incorporadas en las proyecciones de la demanda energética desde un comienzo, un escrutinio de las intensidades energéticas supuestas para diversas e importantes actividades consumidoras de energía en el análisis del IIASA² nos ha convencido de que, de hecho, en este estudio se prestó muy poca atención a las oportunidades para mejorar la eficiencia energética.

Conferencia Mundial de Energía, 1983

La Comisión de Conservación de la Conferencia Mundial de Energía (CME) en 1978 emitió un análisis inicial de la oferta y demanda de energía para los años 2000 y 2020 (28) y produjo un nuevo estudio en 1983 (29), para su presentación ante el XII Congreso de la Conferencia Mundial de Energía en septiembre de 1983, en Nueva Delhi.

El análisis de 1983 fue el resultado de un esfuerzo cooperativo de un equipo central y 10 equipos de trabajo regionales, involucrando a 50 expertos (30 de los países en desarrollo y 20 de los países industrializados) con diversas formaciones (11 de autoridades energéticas, 9 de empresas petroleras, 9 de empresas eléctricas, 14 de organismos internacionales y regionales y 7 de la vida académica e institutos de

investigación). El trabajo fue llevado a cabo en 17 reuniones internacionales y correspondencia complementaria.

El análisis, realizado para 10 regiones mundiales, enfocó el abastecimiento y comercio interregional de energía primaria. Se tomaron en cuenta tanto las fuentes de energía comerciales (carbón mineral, petróleo, gas natural, energía nuclear, hidroelectricidad y fuentes nuevas) como las no - comerciales (leña y residuos animales y vegetales).

Se hicieron proyecciones altas y bajas para la demanda de energía, basadas en gran parte en las proyecciones del PNB, las cuales fueron correlacionadas con la demanda de energía a través del uso de elasticidad de ingreso. Las proyecciones subyacentes del PNB global tuvieron un promedio de 3,3 y 2,4 por ciento por año, 1978 - 2020, y los niveles de demanda energética global correspondientes a 2020 fueron de 2,5 y 2 veces más el nivel de 1980 para los casos de crecimiento alto y bajo, respectivamente (ver la Tabla 1).

A pesar de que las proyecciones de la demanda energética global de la CME en 1983 fueron 6 TW menos que las proyecciones anteriores de 1978 (28), la fuerte dependencia del petróleo, y de los combustibles fósiles en general, y la energía nuclear en las proyecciones de 1983 plantearía problemas similares a los tratados para el estudio del IIASA. Asimismo, la continua concentración de la demanda de los recursos energéticos globales visualizada para los países industrializados (los cuales representarían la mitad del incremento neto de la demanda energética global, 1980 - 2020 (Tabla 1) no sería conducente a mejores relaciones Norte/Sur.

El Modelo IEA/ORAU, 1983 - 84

Ha sido desarrollado para el Departamento de Energía de EE.UU., por el Instituto de Análisis Energético de las Universidades Asociadas de Oak Ridge (IEA/ORAU), un modelo detallado para la economía energética global a largo plazo, a fin de estudiar las determinantes en las futuras emisiones de dióxido de carbono por la quema de combustibles fósiles (30). Una proyección global de base fue realizada en 1983 para los años 2000, 2025 y 2050 (31) y en 1984 se hicieron tres proyecciones alternativas para los años 2000, 2025, 2050 y 2075 (32). Las proyecciones de base de 1983 y 1984 para el año 2025 están indicadas en la Tabla 1.

En el modelo del IEA/ORAU, el mundo está dividido en 9 regiones pero se dan detalles mayores para los países de la OCDE que para el resto del mundo. El modelo es altamente desagregado por el lado de la oferta, tomando en cuenta nueve fuentes de energía primaria, aunque la energía no - comercial no está considerada. Por el lado de la de-

manda, hay poca desagregación. En el caso de los países de la OCDE, la demanda sólo está desagregada hasta el nivel de sector bruto: residencial/comercial, industrial y de transporte. No existe una desagregación de la demanda para el resto del mundo.

En el modelo, las principales determinantes para el nivel y composición de la demanda energética en una determinada región son: población, PNB, precios relativos de los diferentes energéticos y elasticidades de precios de la energía y de los ingresos. Además, se deja un pequeño margen en el modelo para la conservación energética no inducida por el lado de los precios. Inicialmente se especifica el PNB pero después se le deja ajustarse a los cambios de precios para la energía. Utilizando varias elasticidades de oferta y demanda, los precios de la energía para cada uno de los combustibles comercializados a nivel global (petróleo, gas y carbón mineral) se ajustan de sus valores inicialmente especificados hasta balancear la oferta y demanda global de energía.

La proyección de base de la demanda de energía primaria comercial, presentada en el estudio de 1983 (31) para el año 2025, es 26,6 TW, implicando que el uso de la energía comercial aumentaría sólo ligeramente más despacio que la tasa de crecimiento anual supuesta para el PNB (2,9%). En la oferta energética predominarían el carbón mineral (42%), el petróleo (22%) y la energía nuclear (19%), a niveles que conducirían a todos los mismos problemas asociados con estas fuentes energéticas ya discutidas en relación con los escenarios del IIASA.

En el informe de 1984 (32), co-escrito por los autores del estudio de 1983 (31), la proyección B de la demanda primaria de base para 2025 es de 18,8 TW. ³

Los escenarios adicionales (A y C) para los cuales las tasas de utilización global de energía para 2025 son 58% más alta y 20% más baja, respectivamente, pretenden abarcar todos los posibles resultados para la energía y para las emisiones de carbono.

Las fechas estimadas para la duplicación del nivel de dióxido de carbono en la atmósfera, pronosticada en el informe de 1984, se hallan entre 2025 y 2050 para el escenario A, cerca de 2050 para el escenario B y cerca de 2075 para el escenario C. Los parámetros variados para arrojar los escenarios alternos son: crecimiento demográfico, crecimiento del PNB, grado de conservación no inducida por el lado de los precios, así como precios para los diferentes energéticos.

Tal como en los análisis del IIASA y de la CME, estas proyecciones no reflejan adecuadamente las posibilidades para desvincular el crecimiento económico del energético. Esta falla se puede describir en términos de los parámetros característicos utilizados en el modelo.

Mientras que el informe de 1984 prevé la posibilidad de reducir la elasticidad-ingreso en los países en desarrollo con el tiempo, la elasticidad-ingreso de los países de la OCDE se mantiene a 1,0 en estas aplicaciones, significando que cada aumento porcentual del PNB (a precios constantes para la energía) se asociaría con un aumento de un punto porcentual en la demanda energética. Sin embargo, como se observa a continuación, existe una fuerte evidencia de que los países industrializados están entrando en una era pos-industrial, caracterizada por nuevas actividades económicas que son mucho menos intensivas en materiales y, por ende, menos intensivas en energía, que las actividades del pasado.

Más aún estos escenarios sólo dejan un pequeño margen para mejoras en la eficiencia energética no inducidas por el lado de los precios. En los casos de escenario de base para los países de la OCDE, se prevé la posibilidad para un aumento aritmético del uno por ciento anual en la eficiencia energética del sector industrial, y ninguna mejora para los demás sectores. Hasta en el caso "extremo" del C, la tasa de mejoramiento es de sólo 1,5 por ciento por año para el sector industrial y del 0,5 por ciento por año para los otros sectores.

Son importantes dos tipos de mejoras de eficiencia no inducidas por el lado de los precios. El primero está reflejado por lo menos en parte en estos análisis: o sea, la tendencia hacia mejor eficiencia energética en el sector industrial a largo plazo, asociada con innovaciones de proceso, inclusive durante períodos de precios decrecientes para la energía. Además, existen grandes oportunidades para mejorar la eficiencia energética por el lado de políticas públicas, las cuales deben ser consideradas seriamente tanto por los beneficios económicos que conllevarían, como por la flexibilidad que tales esfuerzos podrían dar en el tratamiento de otros importantes problemas globales como el del dióxido de carbono. El no considerar mejoras inducidas por tales políticas es una de las principales fallas de todos los estudios de modelaje energético/económico que toman en cuenta las mejoras de eficiencia energética principalmente por medio de elasticidades para explicar el impacto de los cambios del precio de la energía.

El informe MITEL, 1984

Analistas del Laboratorio de Energía de MIT (MITEL) han utilizado el modelo energético/económico del IEA/ORAU para explorar aún más las oportunidades para hacer frente al problema del dióxido de carbono a través de la búsqueda de estrategias energéticas alternas para el largo plazo (33). Diseñaron once estrategias, las cuales son variaciones del caso de base presentado en el estudio del IEA/ORAU de 1983 (31). En to-

dos los escenarios se implica una mayor eficiencia de los usos finales y, en la mayor parte de ellos, se prevén costos más altos para los combustibles sintéticos que los supuestos en el estudio del IEA/ORAU de 1983. Además, fueron supuestos diversos cambios en las condiciones de la oferta energética.

Los analistas de MITEL concluyeron que el mejoramiento de la eficiencia energética ofrece la oportunidad en sí más importante para mejorar la acumulación de CO₂ y también parece atractiva tanto en términos económicos como ambientales.

El Escenario J, mostrado en la Tabla 1, es uno de varios escenarios de baja demanda energética producidos en el análisis de MITEL, e identificados por los autores como "CO₂-benigno". Según este escenario, en 2025 el uso energético global sería de 12,0 TW, sólo un 17% más que en 1980. El uso de los combustibles fósiles sería 0,78 veces el de 1980 y el tiempo de duplicación del dióxido de carbono atmosférico sería unos 250 años. La utilización del petróleo se reduciría a 0,38 veces el nivel de 1980, como consecuencia de un supuesto recorte de los suministros de petróleo del Medio Oriente en el año 2000 y precios altos para los sustitutos no convencionales del petróleo. Se supone que las mejoras de eficiencia energética no inducidas por el lado de los precios aumentarían geoméricamente a una tasa media anual del 1% en todos los sectores de uso final y en todos los países.

Los autores describieron éste, y sus otros escenarios bajos para la energía, de la siguiente manera:

"Los escenarios relativamente benignos en términos de CO₂... no son bajos en energía en un sentido draconiano... Requerirían de una conciencia y colaboración global, comenzando muy pronto. Mientras que quizás, en el límite inferior de posibles realidades, estos escenarios no nos parecen imposibles, hay que recordar que las proyecciones energéticas que se están haciendo ahora para los primeros años del Siglo XXI se encuentran muy por debajo de lo que la gente creía posible hace sólo una década".

Los niveles de la demanda energética global implicados por las proyecciones de baja energía de MITEL son comparables con lo que nosotros creemos factible al enfatizar mejoras de eficiencia energética de una manera consistente con el logro de las metas económicas, tal como demostraremos en secciones próximas.

Mientras que la falta de énfasis en combustibles fósiles implicada por los escenarios de MITEL sería una manera de manejar el problema del dióxido de carbono, el escenario de MITEL involucraría un aumento

de 14 veces en el uso de la energía nuclear, 1980 - 2025 (correspondiendo a una tasa media anual de crecimiento del 6% en este período y una capacidad instalada de 1.300 GWe en 2025). Con este nivel de desarrollo para la energía nuclear, se podría agravar el problema de proliferación de las armas nucleares.

El rápido crecimiento previsto para la energía nuclear en los escenarios de baja demanda energética está impulsado en gran parte por el costo tan bajo supuesto para la electricidad nuclear entregada: unos US\$ 6,83 por GJ (dólares de 1975) o US\$ 0,035 por kWh (dólares de 1980), el cual es mucho menor inclusive a los estimativos optimistas de los costos de futuras plantas nucleares realizadas por oficiales del Departamento de Energía de los Estados Unidos 4 .

Norhaus y Yohe, 1983

Con respecto al análisis de los cambios climáticos y del dióxido de carbono realizado en 1983 por la Academia Nacional de Ciencias de los EE.UU. (15), Nordhaus y Yohe desarrollaron un modelo global orientado a delinear la incertidumbre en las estimaciones de los futuros niveles de dióxido de carbono en la atmósfera (35).

Norhaus y Yohe construyeron un modelo sencillo y transparente, pero altamente desagregado de la economía energética global. El punto de partida de su análisis involucra el uso de una función de producción para la economía global, relacionando el PNB global con la población, productividad de la mano de obra e insumos de energía comercial a partir de combustibles fósiles y no fósiles. El modelo generará unos $3^{10} = 59.049$ proyecciones alternativas de la futura actividad económica global, la futura demanda energética global (tanto de combustibles fósiles como no - fósiles) y futuras concentraciones de dióxido de carbono en la atmósfera, al asignar valores altos, medianos y bajos a cada una de las 10 variables importantes requeridas en el modelo: (a) facilidad de sustitución entre combustibles fósiles y no - fósiles (medida con elasticidades cruzadas de precios); (b) crecimiento general de productividad; (c) facilidad de sustitución entre energía y mano de obra (medida con elasticidades de precio de la demanda); (d) costos de extracción de combustibles fósiles; (e) tendencias en los costos reales de la producción de energía; (f) fracción atmosférica de la emisión del dióxido de carbono; (g) combinación de combustibles fósiles; (h) crecimiento demográfico; (i) tendencias en los costos relativos de los combustibles fósiles y no - fósiles; y (j) recursos totales de combustibles fósiles.

Los autores utilizaron las medias y varianzas (ampliadas donde ellos lo consideraban necesario, para corregir la subestimación sistemática) en las estimaciones publicadas para cada una de las variables alea-

torias identificadas en el modelo, como base para la construcción de distribuciones normales de probabilidad para cada variable.

Los resultados de una muestra de 1.000 "corridas" arrojan: (a) en el año 2025 un consumo medio de energía comercial de 24,5 TW (ponderado para probabilidad y con una desviación estándar de 8,5 TW) y (b) el año 2070 como la fecha más probable hasta cuando se duplicaría el nivel del dióxido de carbono. Los autores encontraron que los parámetros a los cuales es más sensible el nivel del dióxido de carbono atmosférico son los siguientes: (a) facilidad de sustitución entre combustibles fósiles y no - fósiles (o sea, elasticidades cruzadas de precios); (b) crecimiento general de productividad; y (c) facilidad de sustitución entre energía y mano de obra (relacionada con elasticidades de los precios en la demanda de energía).

Mientras que el modelo de Nordhaus - Yohe puede proporcionar una mayor comprensión en cuanto a los parámetros más importantes que inciden en la acumulación de dióxido de carbono, las limitaciones inherentes impiden que el modelo logre lo que pretendían sus autores: delinear la gama de incertidumbre respecto a futuras emisiones de dióxido de carbono, debido a fallas inherentes al modelo. En primer lugar, el modelo no deja que la elasticidad-ingreso de la demanda energética varíe con el nivel de desarrollo económico, y por lo tanto no puede tomar en cuenta los cambios a las actividades económicas menos intensivas en materiales, y por ende en energía, a los altos niveles de desarrollo económico. En segundo lugar, el modelo no permite mejoras en la eficiencia de los usos finales de la energía que no sean impulsadas por el lado de los precios, a través de elasticidades supuestas.

Además, por su carácter altamente agregado, el modelo de Nordhaus - Yohe no sirve de guía respecto a cómo la política podría facilitar grandes cambios en la eficiencia energética o en la mezcla de la oferta de energía.

Colombo y Bernardini, 1979

En 1979 Umberto Colombo, Director de la Comisión Italiana de Energía Atómica, y Oliverio Bernardini prepararon un informe al Panel sobre Bajo Crecimiento Energético de la Comisión de las Comunidades Europeas, explorando las dimensiones de un futuro energético global hasta el año 2030, en el cual la tasa de consumo per cápita de energía primaria global permaneció fija al nivel de 1975 (36). El estudio fue motivado por las inquietudes de los autores en cuanto a las grandes dificultades que ellos sentían que estarían involucradas en materializar los escenarios intensivos en oferta energética del IASA.

Para los países industrializados, Colombo y Bernardini enfatizan la importancia de cambios estructurales permanentes hacia actividades menos intensivas en materiales y energía, así como oportunidades para mejorar la eficiencia energética. Para los países en desarrollo, estipulan patrones menos centralizados de centros de población, con lo cual haya un mejor equilibrio entre los sistemas de suministro de energía centralizados y descentralizados. Los autores concluyen que bajo estas condiciones un futuro energético sin ningún aumento en el nivel medio global de utilización per cápita de energía comercial sería compatible con un crecimiento económico satisfactorio (Tabla 1).

El escenario de Colombo - Bernardini se basa, en gran parte, en argumentos cualitativos apoyados con algunas observaciones importantes respecto a la estructura del crecimiento económico a largo plazo y en las oportunidades de uso más eficiente de la energía.

Lovins et. al., 1981

Un estudio realizado para la Agencia Ambiental Federal de Alemania por Amory Lovins y sus colaboradores, en 1981, fue quizás el primero que resaltó la importancia de estrategias energéticas alternas para hacer frente al problema del CO₂ (21). Este análisis destaca las fuentes energéticas renovables, descentralizadas y no - eléctricas, pero concibe de la búsqueda de mejoras de eficiencia energética como la manera más prometedora de aliviar el problema del CO₂.

El nivel proyectado por los autores para la utilización global de energía primaria en 2030 es sólo 5 TW, o aproximadamente la mitad del nivel de 1980 (Tabla 1), suponiendo que: (a) el PIB crecerá como en el bajo escenario del IASA; (b) existe una transición continua hacia actividades económicas menos intensivas en energía en los países industrializados, y en los países en desarrollo después del año 2000; y (c) para el año 2030 se podrá extrapolar al mundo entero la eficiencia energética cuádruple identificada por los autores como factible para la República Federal de Alemania.

Para los países industrializados, el análisis de los autores indica un nivel de utilización de energía primaria de 2,3 kW per cápita para 2030. El criterio económico especificado para la selección de las tecnologías alternas tras este escenario es que éstas puedan suministrar el mismo servicio energético a un costo menor que el de una planta nuclear o de un sistema de combustibles sintéticos pedido ahora. Este es un criterio apropiado de costos marginales cuando la demanda agregada está en aumento y las plantas nucleares e instalaciones de combustibles

sintéticos son las alternativas por el lado de la oferta para las inversiones en la eficiencia energética. Pero si la demanda fuera a bajar tanto como indican los autores, es probable que habría una oferta de energías marginales más baratas.

Para la energía primaria de los países en desarrollo, el análisis de los autores proyecta un nivel de utilización per cápita de 0,26 kW para 2030, más o menos la cuarta parte del nivel actual. El ahorro potencial de energía fue estimado aplicando a la energía comercial un factor de reducción en la demanda energética global de 4, derivado de un análisis de las oportunidades para mejorar la eficiencia energética en la RFA. Tal analogía es de validez cuestionable, ya que gran parte del ahorro alcanzable en la RFA se logra en actividades consumidoras de energía de poca relevancia para los países en desarrollo: calentamiento ambiental (no requerido en la mayor parte de los países en desarrollo) y uso de automóviles (de los cuales hay actualmente muy pocos en los países en desarrollo). Los autores no han mostrado que las metas de desarrollo podrían ser logradas con un nivel tan bajo de utilización per cápita de energía.

Una Visión Retrospectiva de las Proyecciones Energéticas Globales

La mayoría de las proyecciones energéticas globales involucran el uso ampliado de ciertas fuentes energéticas que conducirían a problemas fuertemente agravados que tienden a ser aceptados como "el precio del progreso" o dan poca atención a los problemas energéticos de los países en desarrollo, o se preocupan en gran parte de predecir el rango de los futuros resultados factibles e implícitos en las tendencias históricas, descuidando las posibilidades de influir en el curso de los acontecimientos a través de iniciativas de política.

ACOMODACION A RIESGOS GLOBALES. La mayoría de los estudios que hemos examinado (los análisis de MITEL y Lovins siendo excepciones que merecen ser tomadas en cuenta), así como otros estudios energéticos globales, hacen caso omiso a los grandes riesgos globales relacionados con la sobredependencia del petróleo del Golfo Pérsico, de los combustibles fósiles en general y de la energía nuclear, o los analistas arguyen a favor de acomodación a los riesgos, o sea por la adaptación social a los riesgos.

Los analistas del IIASA, por ejemplo, estuvieron muy conscientes de estos riesgos pero eligieron no tratarlos como parte de su análisis energético. Respecto a la dependencia del Golfo Pérsico y las "fuentes difíciles de energía" relacionadas, argumentan (20):

"Algunos de los actuales sistemas energéticos ya son de carácter 'difícil' y global. El Golfo Pérsico es

casi una fuente de energía puntual, arrojando 1,7 TW - años/año, los cuales son suministrados a través de distancias globales. Descartando las opciones difíciles y limitando nuestras elecciones a las formas locales y resistentes de energía, como sugieren Meadows y, especialmente, Lovins, privaría a la humanidad de muchas de sus fuentes energéticas más baratas”.

Aquí los analistas del IIASA fallan al no concretar el problema de la sobredependencia del petróleo del Golfo Pérsico al sugerir que la elección es de “todo o nada” (o sea, el alto nivel de la dependencia del Golfo Pérsico implicado en los escenarios del IIASA o un cambio a “las formas locales y elásticas de energía”).

Reconocen que, debido a la acumulación de dióxido de carbono en la atmósfera, podrían producirse cambios climáticos en cuestión de décadas; que “las implicaciones de estos cambios climáticos son potencialmente grandes” y que (20):

“Estamos enfrentando la dicotomía de tener una potencia policial altamente desagregada en el globo y un problema realmente global de acumulación de dióxido de carbono. ¿Estamos condenados irremediablemente a confrontar este dilema? Probablemente, sí. Sin embargo, es prudente y aconsejable mantener flexibilidad en el diseño de políticas para la oferta energética a fin de demorar la acumulación del dióxido de carbono más allá de ciertos niveles”.

Mientras que se reconoce la necesidad de ser flexible en la planificación energética, el análisis del IIASA, con miras a duplicar o triplicar el uso de los combustibles fósiles para el año 2030, no refleja esta necesidad. Los analistas del IIASA no son atípicos en este sentido, y de hecho la planificación de políticas para el dióxido de carbono hoy en día tiende a orientarse a la articulación de estrategias de acomodación. Por ejemplo, en 1983 una de las principales recomendaciones del informe de la Agencia para la Protección Ambiental de EE.UU. sobre el problema del dióxido de carbono fue la de acelerar y ampliar la investigación sobre el mejoramiento de nuestra habilidad de adaptar a un clima más caliente (37).

De manera similar, mientras que se reconoce que las inquietudes en cuanto a la proliferación podrían limitar la acumulación de potencia nuclear en las décadas por venir, los analistas del IIASA una vez más eligieron no incorporar dichas inquietudes en su análisis energético, argumentando así (20):

“El Programa de Sistemas Energéticos del IIASA no trató explícitamente estas cuestiones (residuos nucleares y proliferación) por dos motivos. El primero es pragmático. Un gran número de grupos capaces y numerosos ya están estudiando estos problemas, y no juzgamos práctico que compitieran con dichos esfuerzos los grupos relativamente pequeños de científicos del IIASA, de muchas naciones... El segundo motivo, y el más significativo, de abstenerse es que consideramos los problemas del manejo de los residuos nucleares y la proliferación como primordialmente políticos... Esperamos que hayamos aportado indirectamente al debate sobre este tema, al aclarar las líneas factuales del problema energético en su conjunto. ¿Se necesita el poder civil o no? Esta pregunta fue primordial en nuestras mentes durante todas las investigaciones, mientras que procuramos proporcionar a los que toman las decisiones y los que formulan las políticas la información que necesitan para hacer elecciones estratégicas”.

La tendencia de hacer caso omiso a los riesgos relacionados con la energía o resaltar la conveniencia de acomodación es común y corriente entre los analistas energéticos que perciben el problema energético principalmente como un desafío, relativamente reducido, de ingeniería para materializar nuevos suministros de energía.

ATENCIÓN INADECUADA A LOS PROBLEMAS ENERGÉTICOS DE LOS PAÍSES EN DESARROLLO. La segunda característica sobresaliente de la mayoría de los estudios energéticos globales (el estudio de Colombo y Bernardini siendo la excepción entre los examinados aquí) es la poca atención prestada a los problemas energéticos de los países en desarrollo.

A pesar de que casi la mitad de la energía consumida por las 3/4 partes de la humanidad que viven en los países en desarrollo es energía no - comercial, ésta no ha sido de mayor consideración en el grueso de los estudios energéticos globales.

En el grado en que sí tratan los países en desarrollo, los análisis globales han tendido a percibir el futuro deseable para aquellos países como una repetición del camino tomado por los ya industrializados. Específicamente, la tendencia ha sido enfocar los sistemas energéticos centralizados. Mientras que las tecnologías energéticas centralizadas enfatizadas en la planificación energética convencional pueden ser aplicables a ciertas situaciones urbanas, la resolución del problema de la leña y la satisfacción de las necesidades de la industria ru-

ral requieren de estrategias bastante diferentes, con mayor énfasis en las soluciones descentralizadas.

Y finalmente en los estudios del IIASA, la CME y el IEA/ORAU, todos visualizan que el incremento en la utilización de energía por los países industrializados será de 10 a 100 por ciento más que en los países en desarrollo (Tabla 1) en el período hasta 2020 o 2030. El gran aumento de demanda previsto para los países ya industrializados ejercería una fuerte presión hacia arriba sobre los precios de la energía, volviéndolo cada vez más difícil para los países en desarrollo cumplir con sus metas de desarrollo. Nosotros creemos que un mundo con tales disparidades sufriría de graves tensiones Norte/Sur.

DESCUIDO DE OPORTUNIDADES PARA INTERVENIR A TRAVES DE POLITICAS. La mayoría de los analistas de la energía a nivel global (siendo los de Colombo y Bernardini y de Lovins las excepciones que merecen señalarse entre los estudios que hemos analizado) tienden a ver su papel como el de comprender la gama de resultados factibles tácitos en las tendencias históricas. Aquí el supuesto implícito es que el futuro es predeterminado en gran parte, o dentro de un rango relativamente pequeño de resultados, con poco o nada de oportunidad para cambios inducidos por la intervención humana.

De hecho, esta perspectiva está inherente a cualquier esfuerzo de modelaje que proyecte la futura demanda energética via el uso de elasticidades para caracterizar las respuestas de los consumidores de energía a los cambiantes precios de la energía.

Nuestro Enfoque

En lo que resta de este trabajo discutiremos algunos de los resultados de nuestro propio estudio del problema energético global, los cuales están tratados en detalle en otro documento (38).

A diferencia de otros análisis, el nuestro no ha supuesto que existen compensaciones inevitables entre las soluciones del problema energético y la de otros importantes problemas globales. Hemos tomado un enfoque normativo al problema energético global, procurando identificar y describir estrategias energéticas globales que contribuyen a, o que por lo menos son consistentes con, las soluciones de otros problemas globales.

También hemos prestado tanto atención a los problemas energéticos de los países en desarrollo como a los de los países industrializados —enfocando las necesidades energéticas de los pobres, los aspectos energéticos del problema de desempleo en los países en desarrollo, la energía no comercial y los sistemas energéticos centralizados y descentralizados.

Finalmente, hemos procurado orientar nuestro análisis hacia la provisión de una base mejor informada para las decisiones de política pública que podrían cambiar el curso de un sistema energético en evolución, con arbitrios que evitarían o mitigarían los problemas, los cuales surgirían si continuaran "los negocios como siempre".

La utilización de la energía no es un fin en sí. La energía es útil sólo en cuanto suministre servicios energéticos como la cocción, iluminación, calefacción, refrigeración, fuerza mecánica, y transporte. El enfoque de nuestro análisis ha sido la mejor comprensión del papel de la energía en la sociedad, a través del examen detallado de los patrones del uso final de energía, cómo y por quién son utilizadas las diversas formas de energía en la actualidad, y cómo podría verse el sistema de usos finales de energía en el futuro.

Este enfoque en el uso final también fue adoptado en el estudio del IIASA, mediante el uso del modelo MEDEE, pero nuestro análisis da un uso más amplio al mismo enfoque. En el análisis del IIASA éste fue adoptado mayormente para proporcionar una base de datos para las tendencias históricas de los patrones de consumo energético, desagregados por usos finales. Nosotros hemos adoptado el enfoque de usos finales para explorar la factibilidad de modificar la evolución del sistema energético en maneras compatibles con el logro de una sociedad sostenible.

Hemos podido identificar futuros energéticos viables muy por fuera del rango normalmente considerado al hacer proyecciones energéticas de largo plazo porque el enfoque de los usos finales para el problema energético facilita la detección de problemas (por ej., cambios estructurales en la economía) y oportunidades (por ej., tecnologías de usos finales más eficientes en energía) que se ven eclipsados en los análisis del problema energético basados en descriptores altamente agregados del sistema energético.

Esta flexibilidad en el sistema energético refleja, en gran parte, el hecho de que para muchas actividades consumidoras de energía, parece haber amplias gamas en el grado de uso de energía que se requiera para suministrar determinadas cantidades de servicios energéticos, con poca variación asociada en el costo del ciclo de vida, o sea, el valor actual descontado de todos los costos de capital y operacionales relacionados con la provisión de dichos servicios.⁵

El uso de tecnologías más eficientes en energía para suministrar servicios energéticos, involucra erogaciones menores en gastos operaciona-

les, pero mayores inversiones iniciales. En muchos casos, el individuo pagará menos, en términos globales, por la opción más eficiente. Inclusive en los casos en que el individuo no gana directamente, podrán ser significativos los beneficios sociales colectivos de muchas decisiones individuales a favor de las opciones más eficientes. Por ejemplo, un cambio generalizado a autos con una mayor economía de combustibles (Figura 2) resultaría en una reducción de las importaciones de petróleo, un precio mundial más bajo para este producto y mayor seguridad.

Desafortunadamente, sin embargo, la experiencia demuestra que los consumidores de energía, por una variedad de motivos, tienden a evitar adquisiciones que requieran costos adicionales iniciales, a menos que el tiempo esperado de amortización basado en ahorros en el costo de operación sea sumamente corto. Dicho de otro manera, las tasas de descuento implícitas en las elecciones de inversión relacionadas con el mejoramiento de la eficiencia energética tienden a ser muy por encima de las tasas de interés en el mercado (40, 41, 42).

Los grandes beneficios sociales que resultarían si las decisiones de inversión por parte de los consumidores de energía se caracterizaran más bien por tasas de descuento cerca a las tasas de interés del mercado, dan una poderosa motivación para las iniciativas políticas orientadas a reducir las tasas de descuento a niveles más razonables. Luego discutiremos algunas de las elecciones de política relacionadas con tales intervenciones.

Estas consideraciones nos llevan a la posición que, al mirar hacia el largo plazo, es menos importante intentar predecir el futuro energético que entender la gama completa de alternativas técnica y económicamente factibles para el futuro, incluyendo las que requieren de intervenciones en el mercado.

NOTAS:

- 1 Aquí se debe distinguir entre el precio mundial del petróleo y el precio de petróleo al consumidor. Puede ser deseable que los gobiernos impongan un gravamen sobre el petróleo importado o un impuesto sobre los productos del petróleo, para que los precios al consumidor sean constantes o para que aumenten lentamente, en términos reales, como una alternativa al "camino accidentado" del precio mundial del petróleo de la última década.
- 2 Consideren el calentamiento ambiental residencial y los ejemplos automotores en la región norteamericana (NA) del IIASA. Ya que la población del Canadá, el uso residencial de la energía y el número de automóviles sólo es la décima parte de lo de EE.UU., las comparaciones de los cálculos del IIASA para la región NA con la situación estadounidense dan una indicación del énfasis sobre eficiencia energética en el análisis del IIASA.

En los escenarios del IIASA, la carga media para calentamiento de ambientes (producción de energía térmica útil del sistema de calefacción) es 52 GJ por hogar en la región NA para 2030. También se supone una eficiencia del 80% para los altos hornos a combustibles fósiles y un CDR = 2 para las bombas eléctricas de calor (supuestas como representativas de 1/2 de la calefacción eléctrica) para los equipos de calentamiento de ambientes (26). Para efectos de comparación, las cargas medias por calentamiento de ambientes en los EE.UU. en 1978 - 79 eran 65 GJ para las casas calentadas a gas y 49 GJ para las casas unifamiliares calentadas eléctricamente (27). Un ahorro del 30% se ha demostrado como efectivo en costo en la rehabilitación de casas existentes (ver texto a continuación). La carga media de calor para las casas unifamiliares nuevas en los EE.UU. se encuentra en el rango de 35 a 43GJ (27), pero con los diseños efectivos en costo y superaislados, la carga de calor se puede reducir a menos de 10 GJ (27). Además, los nuevos altos hornos condensadores tienen eficiencias en el rango de 90 a 95 por ciento, y las mejores bombas de aire - a - aire disponibles en el mercado estadounidense tuvieron un CDR estacional medio de 2,6 (27).

Para el automóvil en 2030, los analistas del IIASA proyectan una economía media de combustibles en el rango de 30 a 33 mpg (7,1 a 7,5 litros por 100 km) (26), lo cual es ligeramente más alto que los 27,5 mpg exigidos para los autos nuevos en EE. UU. en 1985. Con la tecnología actual, los autos con economías de combustibles en el rango de 60 a 100 mpg son factibles (ver texto a continuación).

- 3 La proyección de base para 2025 en el informe de 1984 es más baja que la del estudio de 1983, en una cantidad casi tan grande como la demanda total de energía comercial global en 1980, para esencialmente los mismos supuestos de población y crecimiento global del PNB en los dos escenarios. No se da ninguna explicación de esta asombrosa diferencia. Sin embargo, una comparación de los supuestos planteados y de los resultados de los dos casos indica que la diferencia se debe, por lo menos en parte, a cambios en los supuestos para los precios de la energía, las elasticidades-ingreso y la conservación energética no inducida por el lado de los precios. Una diferencia es que en el segundo informe el costo supuesto para la electricidad nuclear entregada es el doble del planteado en el primer informe. Además, se supone un precio más alto en el segundo informe para el costo del petróleo proveniente de esquistos.

Unas 2/3 partes de la reducción en la demanda global se pueden atribuir a los países en desarrollo, donde el uso per-cápita de la energía primaria se reduce a casi la mitad -- de 1,9 kW en el estudio de 1983 a 1,0 kW en el informe de 1984. Casi las dos terceras partes de la reducción para los países en desarrollo parecen estar asociadas con un cambio en los supuestos para la elasticidad-ingreso. En el estudio de 1983, la elasti-

cidad de los ingresos para los países en desarrollo fue presumido como 1,4; en el informe de 1984 fue supuesto con una continua reducción de 1,4 en 1975 a 1,0 (el valor supuesto para los países de la OCDE en su conjunto) para 2050.

Además, la conservación no inducida por el lado de los precios se supuso en el estudio de 1983 a una tasa aritmética del 1% anual en el sector industrial de los países de la OCDE y a 0,4% anual en la economía total de las regiones fuera de la OCDE. En el informe de 1984 se supusieron tasas geométricas, y la tasa para las regiones no OCDE se aumentó a 0.5% por año.

- 4 Para efectos de comparación, el Departamento de Energía de EE.UU. en 1982 (34) estimó que el costo "busbar" (sin costos de transformación y transporte) de las nuevas plantas nucleares que entrarían en operación en el país en 1995 (con un costo de capital de US\$ 1.550 por kW) sería de US\$ 0,043 por kWh (dólares de 1980). Tomando en cuenta pérdidas de transmisión y distribución del 8%, y agregando los costos de T y D de US\$ 0,013 por kWh el costo de la electricidad entregada ascendería a US\$ 0.06 por kWh. El costo sería aún más alto si persistiera la experiencia reciente de EE. UU. Para los 35 proyectos nucleares en el país, los cuales a fines de 1983 estaban programados para terminar después de 1981, el costo promedio de capital, excluyendo intereses durante la construcción, fue de unos US\$ 1.700 por kW (dólares de 1980) (comunicación particular de Charles Komanoff, Marzo 1983). Con un interés real del 5 por ciento y un período de construcción de 7,8 años (34), el costo instalado sería de US\$ 2.000 por kW, incluyendo los intereses durante la construcción. Para este costo de capital, el costo de electricidad entregada de una planta nuclear sería US\$ 0,070 por kWh (dólares de 1980).
- 5 En el caso de las nuevas casas calentadas a gas natural en EE. UU., por ejemplo, se ha demostrado que la utilización de energía para calentar ambientes puede variar con un factor de tres, de acuerdo con el grado de inversión en la eficiencia energética, aunque el costo del ciclo de vida para las diversas opciones tecnológicas involucradas varía menos del 10% de la media (27). De manera similar, en el caso del automóvil, la Figura 2 muestra que el costo total por km de tener y operar un carro cambia muy poco dentro de todo el rango de economías de combustibles-- 3 a 8 litros por 100 km (30 a 80 mpg)-- que pueden lograr con la tecnología automotriz actual (39).

35

32

33

34

35

36

37

38

39

40

41

42

43

44

45

46

47

48

49

50

51

52

53

54

55

56

57

58

59

60

61

62

63

64

65

66

67

68

69

70

71

72

73

74

75

76

77

78

79

80

81

82

83

84

85

86

87

88

89

90

91

92

93

94

95

96

97

98

99

100

101

102

103

104

105

106

107

108

109

110

111

112

113

114

115

116

117

118

119

120

121

122

123

124

125

126

127

128

129

130

131

132

133

134

135

136

137

138

139

140

141

142

143

144

145

146

147

148

149

150

151

152

153

154

155

156

157

158

159

160

161

162

163

164

165

166

167

168

169

170

171

172

173

174

175

176

177

178

179

180

181

182

183

184

185

186

187

188

189

190

191

192

193

194

195

196

197

198

199

200

201

202

203

204

205

206

207

208

209

210

211

212

213

214

215

216

217

218

219

220

221

222

223

224

225

226

227

228

229

230

231

232

233

234

235

236

237

238

239

240

241

242

243

244

245

246

247

248

249

250

251

252

253

254

255

256

257

258

259

260

261

262

263

264

265

266

267

268

269

270

271

272

273

274

275

276

277

278

279

280

281

282

283

284

285

286

287

288

289

290

291

292

293

294

295

296

297

298

299

300

301

302

303

304

305

306

307

308

309

310

311

312

313

314

315

316

317

318

319

320

321

322

323

324

325

326

327

328

329

330

331

332

333

334

335

336

337

338

339

340

341

342

343

344

345

346

347

348

349

350

351

352

353

354

355

356

357

358

359

360

361

362

363

364

365

366

367

368

369

370

371

372

373

374

375

376

377

378

379

380

381

382

383

384

385

386

387

388

389

390

391

392

393

394

395

396

397

398

399

400

401

402

403

404

405

406

407

408

409

410

411

412

413

414

415

416

417

418

419

420

421

422

423

424

425

426

427

428

429

430

431

432

433

434

435

436

437

438

439

440

441

442

443

444

445

446

447

448

449

450

451

452

453

454

455

456

457

458

459

460

461

462

463

464

465

466

467

468

469

470

471

472

473

474

475

476

477

478

479

480

481

482

483

484

485

486

487

488

489

490

491

492

493

494

495

496

497

498

499

500

501

502

503

504

505

506

507

508

509

510

511

512

513

514

515

516

517

518

519

520

521

522

523

524

525

526

527

528

529

530

531

532

533

534

535

536

537

538

539

540

541

542

543

544

545

546

547

548

549

550

551

552

553

554

555

556

557

558

559

560

561

562

563

564

565

566

567

568

569

570

571

572

573

574

575

576

577

578

579

580

581

582

583

584

585

586

587

588

589

590

591

592

593

594

595

596

597

598

599

600

601

602

603

604

605

606

607

608

609

610

611

612

613

614

615

616

617

618

619

620

621

622

623

624

625

626

627

628

629

630

631

632

633

634

635

636

637

638

639

640

641

642

643

644

645

646

647

648

649

650

651

652

653

654

655

656

657

658

659

660

661

662

663

664

665

666

667

668

669

670

671

672

673

674

675

676

677

678

679

680

681

682

683

684

685

686

687

688

689

690

691

692

693

694

695

696

697

698

699

700

701

702

703

704

705

706

707

708

709

710

711

712

713

714

715

716

717

718

719

720

721

722

723

724

725

726

727

728

729

730

731

732

733

734

735

736

737

738

739

740

741

742

743

744

745

746

747

748

749

750

751

752

753

754

755

756

757

758

759

760

761

762

763

764

765

766

767

768

769

770

771

772

773

774

775

776

777

778

779

780

781

782

783

784

785

786

787

788

789

790

791

792

793

794

795

796

797

798

799

800

801

802

803

804

805

806

807

808

809

810

811

812

813

814

815

816

817

818

819

820

821

822

823

824

825

826

827

828

829

830

831

832

833

834

835

836

837

838

839

840

841

842

843

844

845

846

847

848

849

850

851

852

853

854

855

856

857

858

859

860

861

862

863

864

865

866

867

868

869

870

871

872

873

874

875

876

877

878

879

880

881

882

883

884

885

886

887

888

889

890

891

892

893

894

895

896

897

898

899

900

901

902

903

904

905

906

907

908

909

910

911

912

913

914

915

916

917

918

919

920

921

922

923

924

925

926

927

928

929

930

931

932

933

934

935

936

937

938

939

940

941

942

943

944

945

946

947

948

949

950

951

952

953

954

955

956

957

958

959

960

961

962

963

964

965

966

967

968

969

970

971

972

973

974

975

976

977

978

979

980

981

982

983

984

985

986

987

988

989

990

991

992

993

994

995

996

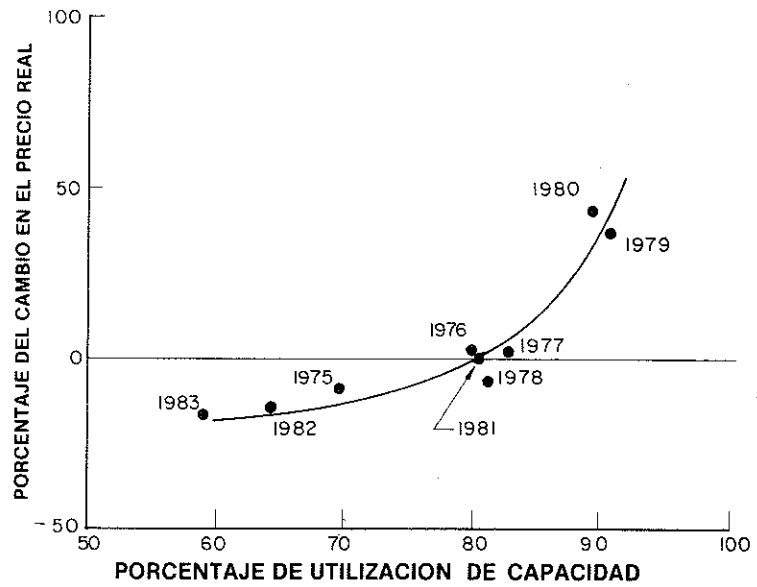
997

998

999

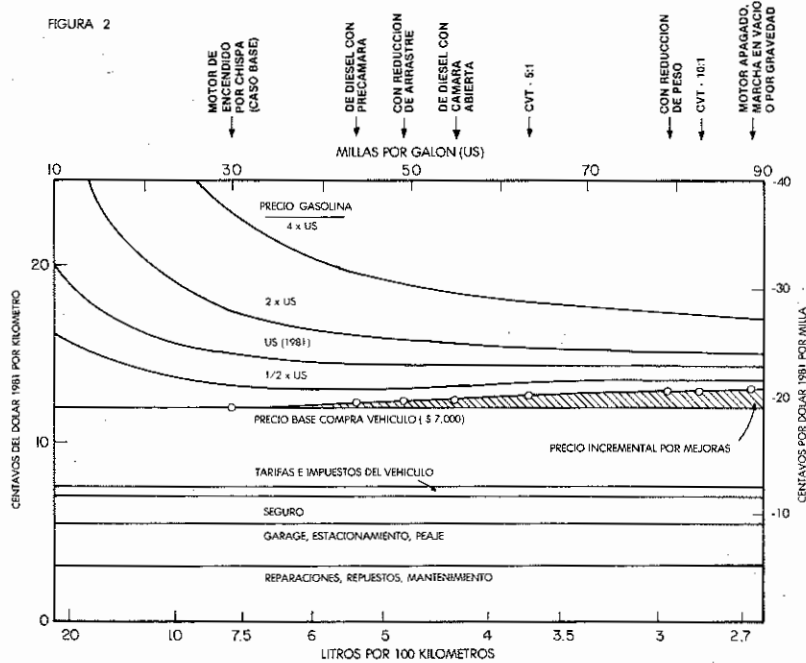
1000

FIGURA 1



Comportamiento de los precios de la OPEP: Cambio porcentual con respecto al año anterior del precio mundial real del petróleo Vs. el porcentaje de la capacidad productiva de la OPEP utilizada.
El porcentaje de la utilización de capacidad es igual a la producción de crudo dividida por la máxima producción sostenible en el mismo año.
FUENTE: (101)

FIGURA 2



Costo total del manejo en función de la eficiencia media de los combustibles, para tres precios de combustibles (el nivel de 1981, el doble de dicho nivel y la mitad del mismo).

La zona sombreada representa el costo inicial adicional por mejoras en la economía de combustible, en base a una simulación computarizada, con el "Rabbit" de la Volkswagen de 1981 con motor a gasolina tomado como el automóvil base, para el cual la economía de combustible es de 7,9 litros por 100 km (30 mpg).

FUENTE: (39)

AN END-USE-ORIENTED GLOBAL ENERGY STRATEGY*

José Goldemberg^{a/}, Thomas B. Johansson^{b/},
Amulya K. N. Reddy^{c/}, Robert H. Williams^{d/}.

INTRODUCTION

It is generally believed that, at the present rate of consumption, the world's remaining oil resources that can be ultimately recovered amount to less than a 100-year supply. Two thirds of these resources are located in Middle East/North African (ME/NAf) countries and in countries with centrally planned economies, while the amount left in the rest of the world is about a 40-year supply. These numbers indicate the ephemeral nature of the present oil glut and highlight the need to begin a global transition away from oil.

The half of the world's population which is dispersed in rural areas of developing countries use little oil, but they are also caught up in an energy crisis. These people depend heavily on biomass --mainly fuelwood used for cooking. A fuelwood crisis has arisen because in many areas increased fuelwood demand associated with population growth is exceeding the rate of fuelwood regeneration. Some 100 million human beings now suffer acute scarcity of fuelwood, and about 1 billion a deficit (1).

These oil and fuelwood supply considerations show clearly that energy is a major global problem. But energy is only one of several important global problems, the most pressing of which include the global economic crisis, North/South conflicts, widespread poverty in developing

* First of a three-part series

a/ President, Sao Paulo Energy Company, Brazil

b/ University of Lund, Sweden

c/ University of Bangalore, India

d/ Princeton University, U.S.A.

countries, population growth, food scarcity, the risk of global nuclear war, nuclear weapons proliferation, man's role in changing the global climate, environmental degradation, and deforestation and desertification. If mankind is to achieve a sustainable world society for the long term, each of these problems must be resolved. This review recognizes that all of these problems have strong links to energy, and that pursuing solutions to the energy problem without considering these links might aggravate the other problems.

In Section 2 we will elaborate the energy-links of the other major global problems. Then in Section 3 we will review the findings of some global energy studies and their implications for these other global problems, discuss some methodological aspects of these efforts, and present our approach for exploring the prospects for achieving a sustainable world energy future. Finally, in Sections 4 to 6 we will discuss the results of our own end-use oriented global energy study.

THE ROLE OF ENERGY IN SOLVING OTHER GLOBAL PROBLEMS

In this section, the links to energy of other global problems are identified and potential contributions of energy planning to their resolution are indicated.

The Economic Crisis

The last decade has been a period of rampant inflation, major global recessions, widespread unemployment, soaring real interest rates, and an associated international debt crisis which could lead to collapse of the global financial system if the debts of developing world debtors are not discharged.

Costly energy has been a major contributing factor to these problems. On average, low - and middle - income developing countries in 1981 spent 61% and 37% of their export earnings on oil imports, respectively (2). Moreover, energy from new sources is generally far more costly than is energy now being produced. For example, in the U.S., between 1972 and 1982 capital expenditures on energy supply rose from 26% to 39% of all new plant and equipment expenditures (3), with essentially no net increase in domestic energy production in this period. In the developing countries, investments committed to energy supply expansion increased during the 1970s from 1-2 % to 2-3 % of GDP (4), requiring in 1982 some \$ 25 billion of foreign exchange -- over 1/3 of the foreign exchange required for all kinds of investments (4).

Committing so much capital to energy supply makes capital scarcer for other economic activities.

If expanding energy supplies continues to be emphasized as the primary means of providing energy services, the economic burden of providing energy in the future could be even greater than indicated by this recent experience.

Because of the concentration of the remaining oil resources in the Persian Gulf region, even modest increases in world oil demand could lead to very large increases in the world oil price. The US Department of Energy projected in 1983 that the world oil price would increase from \$34 per barrel in 1982 to some \$ 55 to \$ 111 per barrel in 2010, associated with a 13 to 24% increase in world oil demand (5) that would once again bring OPEC production up to nearly the 1979 level, when tight market conditions made possible the second world oil shock, with the outbreak of the Iranian Revolution.

For developing countries, energy supply expansion strategies to meet development goals would be especially costly. The World Bank in 1983 estimated that, to increase per capita use of commercial energy from 0.54 to 0.78 kW between 1980 and 1995, investments in energy supplies for all developing countries would have to average some \$ 130 billion a year (in 1982 dollars) between 1982 and 1992 (4 % of aggregate GDP). Half of this investment would have to come from foreign exchange earnings, requiring an average annual increase of 15% in real foreign exchange allocations to energy supply expansion in this period. And despite this targeted effort at energy supply expansion, the World Bank projected that oil imports by oil-importing developing countries would still increase by nearly 1/3, to nearly 8 million barrels per day by 1995 (4). The staggering costs of providing these energy services would lead many to believe (but rarely to state) that it is not feasible to improve living standards substantially in developing countries.

But the costs of providing energy services need not be as high as these projections suggest. The costs of energy can be brought under control, if efforts aimed at providing energy services (for cooking, lighting, space conditioning, mechanical work, mobility, etc.) at the least total social cost are stressed in energy planning. The costs of providing such services can often be reduced by investments in energy efficiency improvement, for industrialized (6) and developing (7) countries alike. This can also mean a lower world oil price, if world oil demand is low enough that tight world market conditions can be avoided

(Figure 1).¹ Prices would be lower for other energy forms as well, to the extent that costly new energy sources are not needed. In such ways energy planning could contribute to improved economic efficiency and well-being.

North/South Conflicts

Poor countries of the "South" account for 3/4 of the world's population but have per capita incomes on average only 1/10 as large as in the rich countries of the "North". This income disparity is a crucial factor responsible for the grave and worsening crisis characterizing the world economy. Problems such as deteriorating commodity prices, Northern protectionist barriers against the emerging manufacturing industries of the South, and the vulnerability of Southern debtors to rising interest rates because of their dependence on variable-rate loans have put developing countries at a disadvantage in the global marketplace.

The solution to North/South conflict is to work toward eradication of the disparities that give rise to the conflicts, by means of policies that foster the development of developing countries -- including policies that would help make affordable the energy needed to meet development goals.

Poverty in Developing Countries

Not only are "North/South" disparities large, but within developing countries there are enormous disparities between the elites, which typically account for 10% of the population and 1/3 to 1/2 of all income, and the rest of the population, who live in abject poverty. The traditional approach to tackling this problem of widespread poverty by maximizing economic growth and expecting the benefits of growth to "trickle down" to help the poor has failed.

A policy targeting the satisfaction of basic human needs for food, shelter, sanitary services, health care, education, and providing meaningful employment is more promising (8.9.10). Because satisfying these needs requires energy services, providing these services must be a goal of development efforts.

Population Growth

The population explosion is closely linked to the problem of poverty, since the economics of large families tend to be favorable for the poor (2). Thus efforts to solve the population problem will be assisted by targeting the satisfaction of the basic human needs of the poor.

Food Scarcity

Whatever success is achieved in slowing population growth, feeding an expanding population will remain a major global challenge for decades. Modernization of agriculture and the associated increased energy inputs are vital to meeting increased food production goals. The FAO has estimated that food production in developing countries must double by 2000, for which additional energy equivalent to 2.8 million barrels of oil per day is required (11). As this is less than the amount of oil saved by the US alone between 1978 and 1982, it is clear that the challenge has less to do with the quantity of energy required than ensuring that supplies are available to meet agricultural needs.

The Risk of Nuclear War

That conflict in the Middle East can draw in the superpowers and threaten nuclear war is indicated by the experience of October 1973, when the Soviet Union threatened to intervene in the Arab-Israeli War, and the US, in response, raised the alert status of its nuclear forces (12). The creation of the US Rapid Deployment Force to assure the industrialized market economies of continued access to Persian Gulf oil, and the presence of mobile Soviet forces in the region indicate the continuing potential for US/Soviet conflict arising from Middle East turmoil. The potential for superpower conflict can be reduced if the industrialized market economies become less dependent on Persian Gulf oil.

Nuclear Weapons Proliferation

In 1964 the US, the USSR, France, and Great Britain were the only nuclear weapons states in the world. Since then, China and India have acquired nuclear weapons, and several other countries either have already achieved or soon will have the capability to produce nuclear weapons. In the coming decades many more countries could join the "nuclear club"-- particularly if nuclear power comes to be a major energy resource.

An indissoluble link between nuclear weapons and nuclear power arises from the fact that plutonium, a material usable in nuclear weapons, is produced in substantial quantities in nuclear power reactors. There is no technical fix for eliminating this link, short of avoiding dependence on the troublesome technologies involved.

The proliferation risk increases enormously if plutonium is recovered from spent reactor fuel and is recycled in fresh fuel. If a state without nuclear weapons acquires plutonium recycle technology, it obtains

nearly all the technology and materials needed to make nuclear weapons quickly, without ever having to make an explicit decision to acquire nuclear weapons. This route to nuclear weapons, which has come to be called "latent proliferation" (13), is a particularly dangerous route to proliferation, involving low risk to the would-be proliferator.

The risk of proliferation can be greatly reduced by avoiding nuclear fuel cycles which involve reprocessing of spent reactor fuel and recycling recovered plutonium. To deter proliferation effectively, such fuel cycles would have to be avoided in all countries, including the nuclear weapons states, as any two-class system which discriminates against countries judged to be proliferation-prone would prove ultimately to be unstable (14).

The incentive to reprocess spent fuel and recycle plutonium will remain low if uranium prices do not rise too much, which in turn will be the case if worldwide nuclear power development is slow enough--specifically if nuclear power is regarded as an energy technology of last resort.

Technological constraints on the scope and character of nuclear power programs by themselves could not halt this "horizontal proliferation" of nuclear weapons capability to many countries. As long there is "vertical proliferation" by the superpowers, brought about by the feeling that their security is enhanced by having nuclear weapons, other nations will want nuclear weapons as well. The only way to avoid a world in which nuclear weapons are much more widely proliferated, both horizontally and vertically, is to couple the avoidance of dangerous nuclear power technologies with superpower efforts to move away from dependence for their security on weapons of mass destruction (14).

Global Climatic Change

In a matter of decades man could bring about major changes in the global climate because of activities leading to the build-up in the atmosphere of carbon dioxide and the resulting "greenhouse effect". The problem is closely related to energy because the major source of this build-up is the burning of fossil fuels. Already in 1979 the atmospheric CO₂ level was 1.15 times the pre-industrial level or 334 ppm. Climatologists believe that with a doubling of the CO₂ level there would be an increase in the global temperature of 3 ± 1.5 °C and perhaps a two- to three-fold greater warming at the poles. The resulting slowdown of the "atmospheric heat engine" associated with the differential equatorial/polar heating rates would, it is estimated, lead to significant changes in global weather patterns (15). The contributions to atmospheric heating of

other radiatively active trace substances (RATS) (15) amplifies the concerns about atmospheric carbon dioxide build-up.

There appear to be no feasible technical fixes for the CO₂ problem (16). The magnitude of the prospective climatic change can best be reduced by not being too dependent on fossil fuels.

Deforestation and Desertification

Between 1952 and 1972 the world's forests were lost at an annual average rate of some 30 million hectares per year (17), while losses of cropland and rangeland to desertification averaged 6 million hectares per year (18). Deforestation arises from the permanent clearing of forest land for agriculture, from fuelwood gathering, and from other overuse of marginal lands for agricultural purposes, especially the grazing of livestock. Efforts are needed to reverse these trends -- for both environmental and economic reasons. Fuelwood resources could be used renewably if demand levels were maintained below the regeneration rate via more efficient use and via increased production through better forest management. The trends toward desertification could be eased if agricultural production, including the grazing of livestock, were shifted from marginal to better lands, via use of modern energy-intensive, yield-increasing agricultural techniques -- a hopeful prospect since only 1/3 of all cropland is under heavily mechanized production (personal communication to R. Williams from D. Pimentel, Cornell University, February 19, 1985) and in developing countries fertilizer inputs per hectare average only 40% of the levels in industrialized countries (19).

Trade-Offs

Most people would agree, we think, that it would be desirable to pursue global energy strategies that are consistent with or supportive of the solutions of the other global problems we have described above, or more fundamentally, that energy strategies should contribute to the achievement of broad societal goals of economic efficiency, equity, environmental soundness, human welfare in the long term, and peace -- in essence, the goals that must be pursued to achieve a sustainable society.

Our ongoing end-use-oriented global energy project, some of the major results of which we report here, leads us to be optimistic that it is feasible to evolve long-run global energy strategies that are consistent with the achievement of a sustainable world society.

This optimism is not widely shared. Many are skeptical that it is possible to satisfy all such objectives simultaneously, because of unavoid-

dable trade-offs. Concerns about equity, for example, suggest to some that large global increases in energy use are needed to bring the majority of the world's population up to a decent standard of living -- the achievement of which must take precedence over environmental and security concerns. Others have argued that the environmental and security risks of modernizing global society outweigh the benefits.

The notion that we must learn to live in a much more troublesome world as the price of human progress stands out as a theme implicit in many recent studies of the long-term energy problem.

SOME GLOBAL ENERGY STUDIES

There are several reasons for studying the long-term energy future:

- As an input for all economic activity, energy is needed to realize the development goals of developing countries and to provide for the continued economic well-being of the industrialized countries.
- Insights about long-term energy requirements are needed as part of the information base for making investment decisions that are characterized by long lead times and long investment lifetimes -- for energy exploration, energy supply development, energy transport and conversion technology, and energy-using equipment.
- Information about the long term is also needed to help formulate long-term energy policy and research and development programs.
- Since remaining oil resources are quite limited, a transition from oil must begin in the decades ahead. This fact prompts interest in understanding how the world's future energy systems will differ from that at present.
- Recently there has been considerable interest in understanding better one of the troublesome side effects of energy production and use -- the atmospheric carbon dioxide problem-- and the options for coping with this problem.

In this section we shall briefly review some of the more recent global energy studies, each of which was motivated by one or more of these concerns. We focus on those studies published since the second oil price hike in 1979. Some key features of the studies we review and of our own analysis are presented in Table 1.

The IIASA Study, 1981

Between 1973 and 1979 the Energy Systems Program Group at the International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA), carried out a major study of the global energy problem, under the direction of Wolf Haefele. More than 140 scientists from 20 countries participated in this effort, which had a budget exceeding \$ 6.5 million. The results of this study have been reported in a large number of reports and articles, and a 1981 book (20). Of all the global energy analyses that have been carried out, this one has attracted perhaps the most attention, not just from energy analysts but also from the broader community of citizens. In the heated energy debates of the late 1970s, this energy project came to symbolize the "hard" energy future, as distinct from the "soft" future advocated largely by Lovins et. al. (21).

The IIASA study makes projections to the years 2000 and 2030 by aggregating projections for seven regions of the world, focussing mainly on commercial energy. The point of departure for the study is an analysis of present and future energy demands, highly disaggregated by energy end-uses. This analysis was based on the MEDEE-2 model, developed at the University of Grenoble (22) and adapted to the IIASA global energy assessment by Lapillone (23). Future energy demands for various end-uses were estimated by correlating activity levels (e.g., passenger-km of travel) with various economic and demographic parameters and by specifying the energy performances of the technological systems involved. Given a set of energy demand levels determined via the MEDEE-2 model, a model called MESSAGE was used to compute the least expensive energy supply mix that meets the specified consumption levels. Then another called IMPACT was used to calculate requirements for capital investment, labor, water, materials, equipment, and additional energy. Finally, IMPACT modified the original economic assumptions to ensure consistency.

The high and low energy scenarios generated for the year 2030 in the IIASA analysis involve primary energy use levels of 35 and 22 TW -- 3 1/2 and 2 times the 1980 energy consumption level-- associated with global GDP growth rates of 3.4% per year and 2.3% per year, respectively (Table 1).

Such levels can be met only with massive expansions of both fossil -fueled and nuclear energy systems. Indeed, achieving the targeted energy supply levels would require:

- new fossil fuel production capacity equivalent to bringing on line a new Alaska pipeline (2 million barrels of oil equivalent per day) every one to two months;

- one new 1 GW(e) nuclear power plant every 2 to 3.5 days.

Anyone familiar with the problems of building new energy supply capacity will realize how difficult it would be to meet these production targets.

Furthermore, developing energy supply on a scale envisioned by these projections would be in strong conflict with many of the other global concerns discussed in the preceding section.

Both scenarios involve such high levels of global oil demand in the year 2030 that the Middle East/North Africa region must produce at the level estimated by the IIASA analysts to be the maximum potential production level for the region, some 34 million barrels per day-- more than twice the average 1982-1984 production. This implies a return to the tight oil supply conditions that provided the basis for the world oil price hikes in the 1970s, and a condition of global insecurity once more as a consequence of overdependence on Persian Gulf oil.

The projections for future fossil fuel use imply that the atmospheric carbon dioxide level would double in the latter half of the 21st century, with consequent major climatic change (15).

The nuclear power projections in these studies imply a serious nuclear weapons proliferation risk; for example, the nuclear projections imply that by 2030 there would be some 2.6 to 4.0 million kg of plutonium recovered from spent reactor fuel and circulated each year in global commerce; for comparison, some 5-10 kg is required to make a nuclear weapon.

Despite these disturbing implications of the IIASA energy projections, the IIASA Energy Systems Program Leader Wolf Haefele and Hans-Holger Rogner have argued that concerns about externalities must be subordinated to the more important goal of bringing about a decent standard of living to the world's impoverished majorities (24):

“Finally, let us address the heart of the issue in question: the old controversy “soft versus hard energy paths”. Yes, we are not soft enough to suggest to the Have-Nots of the world who currently live with an average per capita energy consumption of 0.2 kW-yr/yr that they can expect no more than, say, a per capita consumption of 0.6-kW-yr/yr, while in North America the average per capita consumption is some 10 kW-yr/yr and in Europe some 5 kW-yr/yr. This is no basis for healthy global politics. We refuse to prescribe to the Have-Nots how to live, especially under these circumstances. Nor do we wish to live with a per capita consumption of 0.6 kW-yr/yr. In fact, we believe that all people should be given the energy they

need and be allowed to choose for themselves their way of living. We do not want to transform or change societies. We do want free development constrained only to the degree that is unavoidable. Indeed, with eight billion people in the year 2030, a per capita energy consumption of 2 kW-yr/yr would result in 16 TW-yr/yr, 3 kW-yr/yr in 24 TW-yr/yr, and 4 kW-yr/yr in 32 TW-yr/yr. Yes, we consider an average global per capita consumption between 3 kW-yr/yr and 4 kW-yr/yr a reasonable figure. This is in line with the IIASA energy scenarios."

Indeed, considerations of global equity must play an important role in the formulation of long-run energy strategies, if the world is to evolve toward a more stable state of North/South politics. However, by not distinguishing between energy services and energy use *per se*, the IIASA analysts have not provided a compelling case that it is necessary to increase energy supplies in the manner and to the extent they envisage, in order to bring about a world of widespread prosperity. Moreover, the IIASA projections do not indicate a more equitable pattern of global energy use in 2030 than in 1980: more than half the increment in annual global energy use during 1980-2030, would be accounted for by the industrialized countries (Table 1), a recipe for even greater North/South tensions than at present.

While the IIASA analysts insist that their scenarios are robust, the range of feasible energy futures is certainly much broader than the range spanned by their scenarios. A recent analysis of the IIASA methodologies by Keepin (25) shows that the optimal supply mixes arrived at in the IIASA analysis should be regarded cautiously. Keepin reports that the "the important dynamic contents of the scenarios are effectively prescribed (before the computer is turned on) in the form of assumed projections that are supplied as inputs to the mathematical energy models. Meanwhile, the computerized models themselves perform a simple heuristic analysis that reproduces various input assumptions with few alterations." Furthermore, "... the IIASA scenarios are not robust with respect to minor changes in various input data... it is found that the energy supply scenarios are strongly dependent on arbitrary (and in some cases, unlikely) assumptions about the future costs and availability of energy sources and supply technologies. Small changes in these assumptions (such as increased costs that have already been observed in reality) can yield extremely different scenarios from the models."

As our own analysis presented in later sections indicates, much lower energy demand levels than those projected in the IIASA scenarios can be consistent with the achievement of ambitious economic goals. Such low-energy futures are feasible in part because of the ongoing shift

to less energy-intensive economic activities in industrialized countries-- a shift which is discussed but is not adequately taken into account in the study's numerical analysis. The other important factor that makes such futures feasible is the wide range of opportunities for making more efficient use of energy in industrialized and developing countries alike.

While the IIASA analysts claim that strong energy conservation trends were built into the energy demand projections from the beginning, scrutiny of the energy intensities assumed for various important energy-using activities in the IIASA analysis 2 has convinced us that in fact very little attention was given to opportunities for improving energy efficiency in this study.

World Energy Conference, 1983

The Conservation Commission of the World Energy Conference (WEC) in 1978 issued an initial analysis of energy supply and demand to the years 2000 and 2020 (28), and in 1983 it issued a new study (29) for presentation to the 12th Congress of the World Energy Conference in September 1983, in New Delhi.

The 1983 analysis was the result of a cooperative effort of one central team and 10 regional working teams involving 50 experts (30 from developing countries and 20 from industrialized countries) with varying backgrounds (11 represented energy authorities, 9 oil companies, 9 electric companies, 14 international and regional organizations, and 7 academia and research organizations). The work was carried out in 17 international meetings and supplemental correspondence.

The analysis, carried out for 10 global regions, focussed on the supply of and interregional trade in primary energy. Both commercial energy (coal, oil, natural gas, nuclear power, hydropower, and new sources) and non-commercial energy (fuelwood and animal and vegetable wastes) were taken into account.

High and low projections were made for energy demand, based largely on GNP projections which were correlated with energy demand via the use of income elasticities. The underlying global GNP projections averaged 3.3 and 2.4 percent per year, 1978-2020, and the corresponding global energy demand levels for 2020 were 2 1/2 and 2 times the 1980 level for the high - and low-growth cases, respectively (Table 1).

Despite the fact that the 1983 WEC global energy demand projections were 6 TW less than the earlier 1978 projections (28), the heavy dependence on oil, fossil fuels generally, and nuclear power in the 1983 projections would pose problems similar to those discussed for the IIASA

study. Likewise, the continued concentration of demand for global energy resources envisaged for the industrialized countries [which would account for half the net increase in global energy demand, 1980-2020 (Table 1)] would not be conducive to better North/South relations.

The IEA/ORAU Model, 1983-84

A detailed, long-term global energy-economy model has been developed for the US Department of Energy by the Institute for Energy Analysis/Oak Ridge Associated Universities (IEA/ORAU) to study the determinants of future carbon dioxide emissions from the burning of fossil fuels (30). A baseline global projection was made in 1983 for the years 2000, 2025, and 2050 (31), and in 1984 three alternative projections were made for the years, 2000, 2025, 2050 and 2075 (32). The 1983 and 1984 baseline projections for the year 2025 are indicated in Table 1.

The world is divided into 9 regions in the IEA/ORAU model, but far more detail is provided for OECD countries than for the rest of the world. The model is highly disaggregated on the supply side, taking into account nine primary energy sources, although non-commercial energy is not considered. On the demand side, there is little disaggregation. In the case of OECD countries, demand is disaggregated only to the gross sector level: residential/commercial, industrial, and transport. There is no demand disaggregation for the rest of the world.

In the model, the major determinants of the level and composition of energy demand in a given region are: population, GNP, the relative prices of the different energy carriers, and energy price and income elasticities. In addition, a modest allowance is made in the model for non-price-induced energy conservation. GNP is specified initially and then allowed to adjust to energy price changes. Using various supply and demand elasticities, energy prices for each of the globally traded fuels (oil, gas, coal) are adjusted from their initially specified values until global energy supply and demand are brought into balance.

The baseline primary commercial energy demand projection presented in the 1983 study (31) for the year 2025 is 26.6 TW, implying that commercial energy use would grow only slightly more slowly than the assumed GNP growth rate of 2.9% per year. Energy supply would be dominated by coal (42%), oil (22%), and nuclear energy (19%), at levels that would lead to all the same problems associated with these energy sources that were discussed above for the IIASA scenarios.

In the 1984 report (32), coauthored by the authors of the 1983 study (31), the baseline primary demand projection B for 2025 is 18.8 TW³.

Additional scenarios A and C, for which global energy use rates

for 2025 are 58% higher and 20% lower, respectively, are intended to bracket likely outcomes for energy and carbon emissions.

The estimated dates for a doubling of the atmospheric carbon dioxide level predicted in the 1984 report are between 2025 and 2050 for scenario A, near 2050 for scenario B, and near 2075 for scenario C. The parameters varied to bring about the alternative scenarios are population growth, GNP growth, the degree of non-price-induced conservation, and prices for different energy carriers.

As in the IIASA and WEC analyses, these projections do not adequately reflect the possibilities for decoupling energy and economic growth. This shortcoming can be described in terms of the characteristic parameters used in the model.

While the 1984 report allows for the possibility of reducing the income elasticity in developing countries over time, the income elasticity for OECD countries is maintained at 1.0 in these applications, meaning that each percentage increase in GNP, at constant energy price, would be associated with a 1-percent increase in energy demand. Yet, as shown below, there is strong evidence that industrialized countries are entering a post-industrial era characterized by new economic activities that are far less materials-intensive, and thus less energy-intensive, than economic activity of the past.

Moreover, these scenarios make only modest allowance for non-price-induced improvements in energy efficiency improvement. In the base case scenarios for OECD countries allowance is made for an arithmetic 1-percent annual increase in energy efficiency for the industrial sector and no improvement whatsoever for other sectors. Even in the "extreme" case C, the rate of improvement is only 1.5 percent per year for the industrial sector and 0.5 percent per year for the other sectors.

Non-price-induced efficiency improvements of two types are important. The first of these is reflected, at least in part, in these analyses -- namely the long-term trend toward improved energy efficiency in the industrial sector, associated with process innovation, even during periods of declining energy prices. In addition there are major opportunities for public-policy-induced energy efficiency improvements, which should be considered seriously both for the economic benefits they would bring and for the flexibility such efforts would provide in dealing with other important global problems such as the carbon dioxide problem. The failure to consider such policy-induced energy efficiency improvements is a major shortcoming of all the energy/economy modeling studies that take into account energy efficiency improvements largely via elasticities, to account for the impacts of energy price changes.

The MITEL Report, 1984

Analysts at the MIT Energy Laboratory (MITEL) have used the IEA/ORAU energy/economy model to explore further the opportunities for coping with the carbon dioxide problem by pursuing alternative long-run energy strategies (33). They designed eleven scenarios, all of which are variations of the base case presented in the 1983 IEA/ORAU study (31). All of the scenarios involve higher end-use efficiencies, and most of them higher synthetic fuel costs than were assumed in the 1983 IEA/ORAU study. Various changes in energy supply conditions were assumed.

The MITEL analysts concluded that improving energy efficiency offers the single most important opportunity to ameliorate the CO₂ build-up, and that it also appears attractive in its own right, both economically and environmentally.

Scenario J, shown in Table 1, is one of several low-energy demand scenarios produced in the MITEL analysis, which the authors identified as "CO₂ benign". In this scenario overall energy use in 2025 is 12.0 TW, only about 17% more than in 1980. Fossil fuel use in 2025 is 0.78 times as large as in 1980, and the atmospheric carbon dioxide "doubling time" would be about 250 years. Oil use would be reduced to 0.38 times the 1980 level, as a consequence of an assumed cut-off of Middle East oil supplies in 2000 and a high prices of unconventional substitutes for oil. Non-price-induced energy efficiency improvements are assumed to increase geometrically at an average annual rate of 1% per year, for all end-use sectors and for all countries.

The authors describe this and their other low-energy scenarios as follows:

"The relatively CO₂-benign scenarios... are not low-energy in a Draconian sense... They would require global awareness and collaboration, starting very soon. While perhaps at the lower limit of possible realities, these scenarios do not appear to us impossible, recall that energy projections for the early 2000's now being made are much below what people believed possible only a decade ago."

The global energy demand levels implied by the MITEL low-energy projections are comparable to what we believe are achievable by emphasizing improvements in energy efficiency, in a manner consistent with the achievement of economic goals, as we shall show in later sections.

While the de-emphasis on fossil fuels implied by the MITEL scenarios would be an effective way to deal with the carbon dioxide problem, the MITEL scenario would involve a 14-fold increase in the use

of nuclear energy, 1980-2025 (corresponding to an average annual growth rate of 6% in this period, and an installed capacity of 1300 GW(e) in 2025). With this level of nuclear power development, the nuclear weapons proliferation problem could be exacerbated.

The rapid growth envisaged for nuclear power in the MITEL low-energy-demand scenarios is driven in large part by the very low cost assumed for delivered nuclear electricity -- some \$ 6.83 per GJ (1975 \$) or \$ 0.035 per kWh (1980 \$) -- which is far less than even optimistic estimates of future nuclear power plant costs by US DOE officials.⁴

Nordhaus and Yohe, 1983

In connection with the 1983 carbon dioxide/climatic change analysis of the US National Academy of Sciences (15), Nordhaus and Yohe developed a global model aimed at bracketing the uncertainty in estimates of future levels of carbon dioxide in the atmosphere (35).

Nordhaus and Yohe constructed a simple and transparent but highly aggregated model of the global energy economy. The starting point of their analysis involves the use of a production function for the global economy, relating global GNP to population, labor productivity, and inputs of fossil and non-fossil fuel commercial energy. The model will generate some 310 = 59,049 alternative projections of future global economic activity, future global energy demand (both fossil and non-fossil fuel), and future carbon dioxide concentrations in the atmosphere, by assigning high, medium, and low values of each of 10 important variables needed in the model: (a) ease of substitution between fossil and non-fossil fuels (measured by cross-price elasticities); (b) general productivity growth; (c) ease of substitution between energy and labor (measured by price elasticities of demand); (d) extraction costs of fossil fuels; (e) trends in the real costs of producing energy; (f) airborne fraction for carbon dioxide emission; (g) fuel mix among fossil fuels; (h) population growth; (i) trends in relative costs of fossil and non-fossil fuels; and (j) total resources of fossil fuels.

The authors used the means and variances (expanded, where the authors thought it was necessary, to correct for systematic underestimation) for the published estimates of each of the random variables identified in the model as a basis for constructing normal, judgmental probability distributions for each variable.

The results of a sample of 1000 runs gives: (a) a probability-weighted mean commercial energy consumption in the year 2025 of 24.5 TW (with a standard deviation of 8.5 TW) and (b) 2070 as the most likely date by which the atmospheric carbon dioxide level would double. The authors found that the parameters to which the atmospheric carbon dioxide level are most sensitive are: (a) the ease of substitution between fossil and

non-fossil fuels (i.e., the cross-price elasticities); (b) general productivity growth; and (c) ease of substitution between energy and labor (related to price elasticities of energy demand).

While the Nordhaus-Yohe model is able to provide these insights as to the most important parameters influencing the carbon dioxide build-up, inherent shortcomings prevent the model from accomplishing what its authors hoped it would: bracketing the range of uncertainty of future carbon dioxide emissions, owing to inherent shortcomings in the model. First, the model does not allow the income elasticity of energy demands to vary with the level of economic development, and thus cannot take into account shifts to inherently less materials-intensive and hence less energy-intensive economic activities at high levels of economic development. Second, the model does not allow for improvements in energy end-use efficiency that are not driven by price via the assumed elasticities.

Also, because of its highly aggregated nature, the Nordhaus-Yohe model does not offer guidance as to how policy might facilitate major changes in energy efficiency or in the mix of energy supplies.

Colombo and Bernardini, 1979

In 1979 Umberto Colombo, director of the Italian Atomic Energy Commission, and Oliviero Bernardini prepared a report to the Panel on Low Energy Growth, of the Commission of the European Communities, exploring the dimensions of a global energy future to the year 2030, in which the global primary per capita energy consumption rate remained fixed at the 1975 level (36). The study was motivated by the authors' concerns about the great difficulties they felt would be involved in bringing about the energy-supply-intensive IASA scenarios.

For industrialized countries, Colombo and Bernardini stress the importance of the ongoing structural shifts toward less materials - and energy-intensive activities, and opportunities for energy-efficiency improvement. For developing countries they call for less centralized settlement patterns with a better balance between centralized and decentralized energy supply systems. The authors conclude that under these conditions an energy future with no increase in the global average level of per capita commercial energy use would be compatible with satisfactory economic growth (Table 1).

The Colombo-Bernardini scenario is based largely on qualitative arguments, supported by some important observations about the structure of economic growth in the longer term, and the opportunities for more efficient use of energy.

Lovins et al., 1981

A 1981 study carried out for the German Federal Environmental Agency by Amory Lovins and his collaborators was perhaps the first to stress the importance of alternative energy strategies in coping with the CO₂ problem (21). This analysis emphasizes renewable, decentralized, and non-electric energy sources, but sees improving energy efficiency as the single most promising way to alleviate the CO₂ problem.

The authors project a global primary energy use level for 2030 of only 5 TW, about half the level for 1980 (Table 1), assuming that (a) GDP will grow as in the IASA low scenario; (b) there is a continuing shift to less and less energy-intensive economic activity in industrialized countries and in developing countries after the year 2000; and (c) the four-fold improvement in energy efficiency the authors identified as feasible for West Germany can be extrapolated to the whole world by 2030.

For industrialized countries, the authors' analysis indicates a primary energy use level of 2.3 kW per capita for 2030. The economic criterion specified for the selection of the alternative technologies underlying this scenario is that these technologies must be able to provide the same energy service at less cost than that for a nuclear power plant or a synthetic fuel system ordered now. This is an appropriate marginal-cost criterion when aggregate demand is rising, and nuclear power plants and synthetic fuel facilities are the supply alternatives to investments in energy efficiency. But if demand were to fall as much as the authors indicate, it is likely that there would be cheaper marginal energy supplies.

For developing countries, the authors' analysis projects a per capita primary energy use level of 0.26 kW for 2030 -- about 1/4 of the present level. Potential energy savings were estimated by applying to commercial energy an overall energy demand reduction factor of 4, derived from an analysis of the opportunities for improving energy efficiency in West Germany. Such an analogy is of questionable validity, since a large fraction of the savings achievable in West Germany are in energy-using activities of little relevance to developing countries: space heating (not needed in most developing countries) and use of the automobile (of which there are presently very few in developing countries). The authors have not shown that development goals could be met with such a low level of per capita energy use.

A Retrospective on Global Energy Projections

Most global energy projections involve expanded use of particular

energy sources that would lead to greatly aggravated problems which tend to be accepted as the "price of progress," or they give scant attention to the energy problems of developing countries, or they are concerned largely with predicting the range of plausible future outcomes implicit in historical trends, neglecting the possibilities for influencing the course of events by policy initiatives.

ACCOMMODATION TO GLOBAL RISKS Most of the studies we have reviewed (the MITEL and Lovins analyses are notable exceptions), and other global energy studies as well, either ignore the major global risks relating to overdependence on Persian Gulf oil, on fossil fuels generally, and on nuclear power, or they argue for risk accommodation, i.e., social adaptation to these risks.

The IIASA analysts, for example, were well aware of these risks but chose not to deal with them as part of their energy analysis. On Persian Gulf dependency and related "hard energy sources", they argue (20):

"Some of the present energy systems are already "hard" and global in nature. The Persian Gulf is nearly a point source of energy, yielding 1.7 TW-yr/yr, which are supplied across global distances. Discarding hard options and limiting our choices to local resilient forms of energy, as suggested by Meadows and especially by Lovins, would deprive mankind of many of its cheapest energy sources."

Here the IIASA analysis fails to come to grips with the problem of overdependence on Persian Gulf oil by suggesting that the choice is all or nothing (i.e., the high level of Persian Gulf dependence implied by the IIASA scenarios or a shift to "local resilient forms of energy").

They recognize that because of the atmospheric carbon dioxide build-up, major climatic change could occur in a matter of decades, that "the implications of these climatic changes are potentially large," and that (20):

"We are faced with the dichotomy of having a highly disaggregated political power on the globe and a truly global problem of carbon dioxide build-up. Are we doomed to encounter this dilemma? Probably, yes. Nevertheless, maintaining flexibility in designing energy supply policies to delay the build-up of carbon dioxide beyond certain levels is prudent and advisable."

While recognizing the need to be flexible in energy planning, the IIASA analysis, which looks to a doubling or a tripling of fossil fuel use by 2030, does not reflect this need. The IIASA analysts are not atypical in this regard, and in fact carbon dioxide policy planning today tends to

be oriented to articulating strategies of accommodation. For example, one of the major recommendations of the 1983 US Environmental Protection Agency report on the carbon dioxide problem is to expand research on improving our ability to adapt to a warmer climate (37).

Similarly, while recognizing that concerns about proliferation could limit the build-up of nuclear power in the coming decades, the IIASA analysts again chose not to incorporate these concerns in their energy analysis, arguing (20):

“The IIASA Energy Systems Program did not deal with these (nuclear waste and proliferation) issues explicitly for two reasons. The first reason is a pragmatic one. A large number of capable and sizeable groups are already studying these problems, and we did not judge it practical for the relatively small groups of IIASA scientists from many nations to compete with these efforts... The second and more commanding reason for abstaining is that we regard the problems of nuclear waste handling and proliferation as primarily political ones... We hope that indirectly we have contributed to the debate on this subject by clarifying the factual lines of the energy problem as a whole. Is civilian nuclear power needed or not? This question was upmost in our minds throughout our investigations as we sought to provide decision- and policymakers with the information they need to make strategic choices.”

The tendency to ignore such energy-related risks or stress accommodation is commonplace among energy analysts who view the energy problem primarily as the relatively narrow engineering challenge of bringing forth new energy supplies.

INADEQUATE ATTENTION TO ENERGY PROBLEMS

OF DEVELOPING COUNTRIES. The second striking feature of most global energy studies (the Colombo & Bernardini study being the exception among the studies reviewed here) is the scant attention given to the energy problems of developing countries.

Despite the fact that nearly half of the energy consumed by the 3/4 of mankind living in developing countries is non-commercial energy, such energy has not been an important consideration in most global energy studies.

To the extent that they do deal with developing countries, global analyses have tended to see as the desirable future for developing countries a retracing of the path taken by the already industrialized countries. Specifically, the tendency has been to focus on centralized energy systems. While the centralized energy technologies emphasized

in conventional energy planning may be applicable to certain urban situations, solving the fuelwood problem and meeting the needs of rural industry require quite different strategies, with greater emphasis on decentralized solutions.

And finally, the IIASA, WEC, and IEA/ORAU studies all envisage that the increment in energy use by industrialized countries will be 10 to 100 % more than in developing countries (Table 1) in the period to 2020 or 2030. The large increase in demand envisaged for the already industrialized countries would put strong upward pressure on the prices of energy, making it increasingly difficult for developing countries to meet their development goals. We believe a world with such disparities would suffer severe North/South tensions.

NEGLECT OF OPPORTUNITIES FOR POLICY

INTERVENTION Most global energy analysts (the notable exceptions among the studies we have analyzed are the Colombo & Bernardini and Lovins analyses) tend to see their roles as understanding the range of plausible outcomes implicit in historical trends. Here the tacit assumption is that the future is determined to within a relatively narrow range of outcomes, with little or no room for changes induced by human intervention.

This perspective is in fact inherent in any modelling effort that projects future energy demand via the use of elasticities to characterize the responses of energy consumers to changing prices.

Our Approach

In the rest of this paper we discuss some of the findings of our own study of the global energy problem, the results of which are discussed at length elsewhere (38).

Unlike other analyses, ours has not assumed that there are unavoidable trade-offs between solutions of the energy problem and those of other important global problems. We have taken a normative approach to the global energy problem, seeking to identify and describe global energy strategies that contribute to or are at least consistent with the solutions of other important global problems.

We have also given as much attention to the energy problems of developing countries as those of industrialized countries-- focusing on the energy needs of the poor, on the energy aspects of the unemployment problem in developing countries, on non-commercial energy, and on decentralized as well as centralized energy systems.

Finally, we have tried to orient our analysis toward providing a more informed basis for public policy decisions that could change the

course of the evolving energy system in ways that would avoid or mitigate the problems that would arise if "business as usual" persisted.

The use of energy is not an end in itself. Energy is useful only insofar as it provides energy services like cooking, lighting, heating, refrigeration, mechanical work, or transport. The focus of our analysis has been on understanding better the role of energy in society by examining in detail the patterns of energy end-uses, how and by whom different forms of energy are used today, and how the energy end-use system might look in the future.

This end-use approach was also adopted in the IIASA study, via the use of the MEDEE model, but our analysis makes fuller use of the end-use approach. In the IIASA analysis the end-use approach was adopted largely to provide a data base for historical trends in energy consumption patterns disaggregated by end-use. We have adopted the end-use approach to explore the feasibility of modifying the evolution of the energy system in ways compatible with the achievement of a sustainable society.

We have been able to identify feasible energy futures far outside the range normally considered in making long-term energy projections because the end-use approach to the energy problem facilitates the discovery of problems (e.g., whether progress is being made in eradicating poverty), trends (e.g., structural shifts in the economy), and opportunities (e.g., more energy-efficient end-use technologies) that are obscured in analyses of the energy problem based on highly aggregated descriptors of the energy system.

This flexibility in the energy system largely reflects the fact for that, for many energy-using activities, there seem to be wide ranges in the amounts of energy use required to provide given amounts of energy services, with little corresponding variation in the lifecycle cost, i.e., the discounted present value of all capital and operating costs associated with providing those services.⁵

The use of more energy-efficient technologies for providing energy services involves lower operating costs but higher initial investments. In many cases, the individual will pay less overall for the more efficient option. Even in cases where the individual does not gain directly, the collective societal benefits of many individual decisions in favor of the more efficient options may be significant. For example, a widespread shift to cars with high fuel economy (Figure 2) would lead to reduced oil imports, a lower world oil price,

and enhanced security.

Unfortunately, however, experience shows that energy consumers, for a variety of reasons, tend to avoid purchases that require extra first costs unless the expected "payback" time from operating cost savings is exceedingly short. Put another way, the discount rates implicit in investment choices relating to energy efficiency improvement tend to be far in excess of market interest rates (40, 41, 42).

The large societal benefits that would result if energy consumer investment decisions were instead characterized by discount rates close to market interest rates provides a powerful motivation for policy initiatives aimed at reducing these discount rates to more reasonable levels. Later we shall discuss some of the policy choices relating to such interventions.

Such considerations lead us to the position that in looking to the long-term future, it is less important to try to predict the energy future than to understand the full range of technically and economically feasible energy futures, including those that require market interventions.

NOTES:

1 Here a distinction should be made between the world oil price and consumer oil prices. It may be desirable for governments to put a tariff on imported oil or tax oil products so that consumer prices are constant or slowly rising in real terms, as an alternative to the bumpy path of the price of world oil in the last decade.

2 Consider residential space heating and automotive examples in IIASA's North American (NA) region. Since Canada's population, residential energy use, and number of cars are only 1/10 as large as for the US, comparisons of IIASA calculations for the NA region with the US situation give an indication of the emphasis on energy efficiency in the IIASA analysis.

In the IIASA scenarios the average space heating load (the useful thermal energy output of the heating system) is 52 GJ per household in the NA region in 2030. Also an efficiency of 80% for fossil fuel furnaces and a COP = 2 for electric heat pumps (assumed to account for 1/2 of electric heating) are assumed for space heating equipment (26). For comparison the average space heating loads in the US in 1978-79 were 65 GJ for gas-heated houses and 49 GJ for electrically-heated single family dwellings (27).

Savings of 30% have been demonstrated as being cost-effective in retrofits of existing houses (see below). The average heat load for new single-family dwellings in the US is in the range 35 to 43 GJ (27), but with cost-effective super-insulated designs the heat load can be reduced below 10 GJ. (27). Also, new condensing furnaces have efficiencies in the range 90 to 95 percent, and the best air-to-air heat pumps available on the market in the US in 1982 had seasonal average COPs of 2.6 (27).

For the automobile in 2030 the IASA analysts project an average fuel economy in the range 31-33 mpg (7.1 to 7.5 liters per 100 km) (26), which is slightly higher than the 27.5 mpg mandated for new cars in the US by 1985. With present technology, cars with fuel economies in the range 60 to 100 mpg are feasible (see below).

- 3 The baseline projection for 2025 in the 1984 report is lower than that in the 1983 study by an amount nearly as great as total global commercial energy demand in 1980, for essentially the same assumptions about population and global GNP growth in the two scenarios. No explanation is given for this striking difference. However, comparison of the stated assumptions and outcomes for the two cases indicates that the difference is due at least in part to changes in assumptions about energy prices, income elasticities, and non-price-induced energy conservation.

One difference is that in the later report the assumed cost of delivered nuclear electricity is double that in the earlier report. Also, a much higher price is assumed in the later report for the cost of oil from shale.

About 2/3 of the global demand reduction is attributable to developing countries, where per capita primary energy use is reduced almost in half-- from 1.9 kW in the 1983 study to 1.0 kW in the 1984 report. Nearly 2/3 of the reduction for developing countries appears to be associated with a change in the assumptions for income elasticity. In the 1983 study the income elasticity for developing countries was assumed to be 1.4; in the 1984 report it was assumed to be reduced continually from 1.4 in 1975 to 1.0 (the value assumed throughout for OECD countries) by 2050.

In addition, non-price-induced conservation is assumed in the 1983 study to take place at arithmetic rates of 1% per year in the industrial sector of OECD countries and 0.4% per year for the entire economy in non-OECD regions. In the 1984 report geometrical rates are assumed, and the rate for non-OECD regions is increased to 0.5% per year.

- 4 For comparison, the US Department of Energy in 1982 (34) estimated that the busbar cost of new nuclear power plants that would come on line in the US in 1995, at a capital cost of \$ 1550 per kW, to be \$ 0.043 per kWh (1980 \$). Taking into account 8% transmission and distribution (T and D) losses and adding costs of \$ 0.013 per kWh would bring the cost of delivered electricity to \$ 0.06 per kWh. The cost would be even more if recent US experience were to persist. For the 35 nuclear projects in the US, which as of late 1983 were scheduled for completion after 1981, the average capital cost, exclusive of interest during construction, was about \$ 1700 per kW (1980 \$) (private communication from Charles Komanoff, March 1983). With 5-percent real interest and a 7.8-year construction period (34), the installed cost would be \$ 2000 per kW, with interest during construction included. For this capital cost, the delivered cost of electricity from a nuclear power plant would be \$ 0.070 per kWh (1980 \$).

- 5 In the case of new natural gas-heated houses in the US, for example, it has been shown that the energy use for space heating can vary by a factor of three, depending on the degree of investment in energy efficiency, although the lifecycle cost for the various technological options involved varies by less than 10% from the mean (27). Similarly, in the case of the automobile, Figure 2 shows that the total cost per km of owning and operating a car changes very little over the entire range of fuel economies, 8 to 3 liters per 100 km (30 to 80 mpg), that can be achieved with present automotive technology (39).

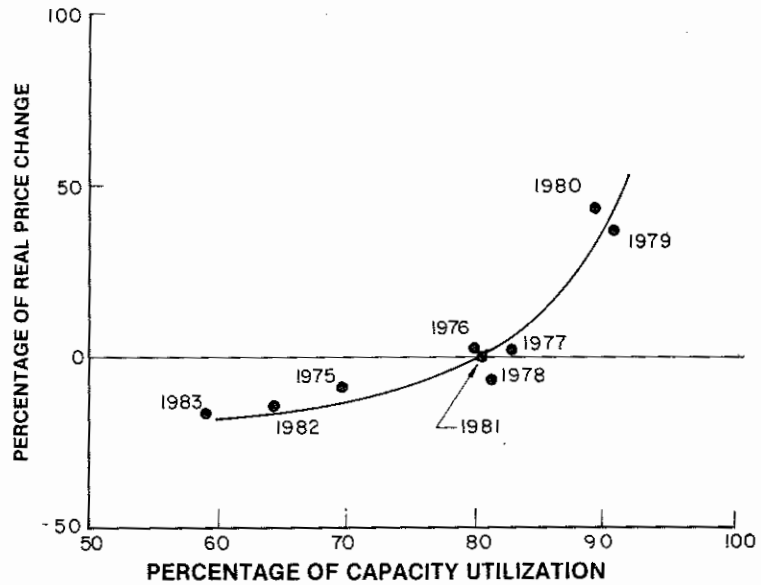
TABLE I
COMPARISONS OF SOME GLOBAL ENERGY STUDIES

	1980	IIASA (20)		WEC (29)		IEA/ ORAU		MITEL (33)		Nordhaus & Yohe (35)	Colombo & Bernardini (36) ^u	Lovins et. al (20) ^v	This study
		High	Low	High	Low	(32)	(31)	A	J				
Projection Year	—	2030		2020		2025	2025	2025	2025	2025	2030	2030	2020
Population (billion)	4.43	7.98		7.72		7.36	7.36 ^o	7.36	7.36	7.82	7.98	7.98	6.95
Per capita GDP													
Growth rate to Year of projection (% per year)		2.1	1.1	2.0	1.1	1.6	1.6 ^b	1.6	1.6	1.9	1.2	1.1	
Primary Energy ^d													
TW, World	10.3 ^e	35.2	22.0	24.7	19.2	18.8	26.6	18.1	12.1	24.5	14.4	5.2	11.2
Industrialized	7.0	20.1	13.5	14.8	12.5	12.7	15.8				7.2	3.6	3.9
Developing	3.3	15.1	8.4	9.9	6.7	6.1	10.8				7.2	1.7	7.3
kW/cap, World	2.33	4.41	2.76	3.20	2.49	2.55	3.61	2.46	1.64	3.14	1.81	0.65	1.61
Industrialized	6.3	12.9	8.64	9.67	8.15	8.52	10.6				4.64	2.28	3.15
Developing	1.0	2.35	1.32	1.59	1.08	1.04	1.84				1.12	0.26	1.28
Energy Supply (TW)													
Oil	4.18	6.83	5.02	5.81	4.26	4.01	5.81	2.44	1.57		2.71 ^f		3.23
Gas	1.74	5.97	3.47	4.59	3.42	3.60	3.59	1.64	1.69				3.23
Coal	2.44	12.0	6.45	7.74	6.06	9.47	11.1 ^g	8.60	3.23		4.95		1.95
Hydro	0.19	0.52	0.52	0.70	0.52	1.04 ^h	1.09 ^h	0.93 ^h	1.22 ^h		0.76 ^h		0.46
Nuclear	0.22	8.09	5.17	3.21	2.31	0.69	5.02	1.81	2.99			1.74	0.75
Other	1.49	1.81	1.33	2.65	2.65			2.67 ⁱ	1.36 ⁱ		4.28		1.58

NOTES:

- a. Inferred from (32).
- b. As no value is reported in (31), this is assumed to be the same as in (32), since growth rates for the period 1975 to 2050 are the same for the two IEA/ORAU studies.
- c. No global GDP growth rate was explicitly assumed. However, the energy demand projection is consistent with per capita GDP increasing 1.5- to 2-fold in industrialized countries and up to 10-fold in developing countries. These assumptions are consistent with a global per capita GDP growth rate of up to about 3 percent per year.
- d. Here TW is an abbreviation for TW-year/year and kW an abbreviation for kW-year/year. Nuclear power is counted as the fossil fuel equivalent for producing the same amount of electricity. Hydroelectricity and other solar electric sources are counted as the electricity produced. Includes non-commercial energy, feedstocks, and bunkers. Only the IIASA and WEC studies and our study include non-commercial energy, although the MITEL study attempts to deal with non-commercial energy in the model used by assigning very low cost to part of the biomass fuels consumed.
- e. Commercial energy and fuelwood consumption data for Eastern Europe and the Soviet Union are from (89). Bioenergy data for developing countries are from (90). In 1980 bioenergy consumption by the US pulp and paper industry was 1.1 EJ (91), while wood consumption for household fuel use was 0.87 EJ (92). Non-commercial energy use in other industrialized market economies was obtained from (93).
- f. Oil plus natural gas.
- g. Includes biomass.
- h. Includes solar electric.
- i. Synfuels.
- j. May not include feedstocks and bunkers.
- k. May not include feedstock and bunkers. All electricity is provided by renewables or cogeneration.

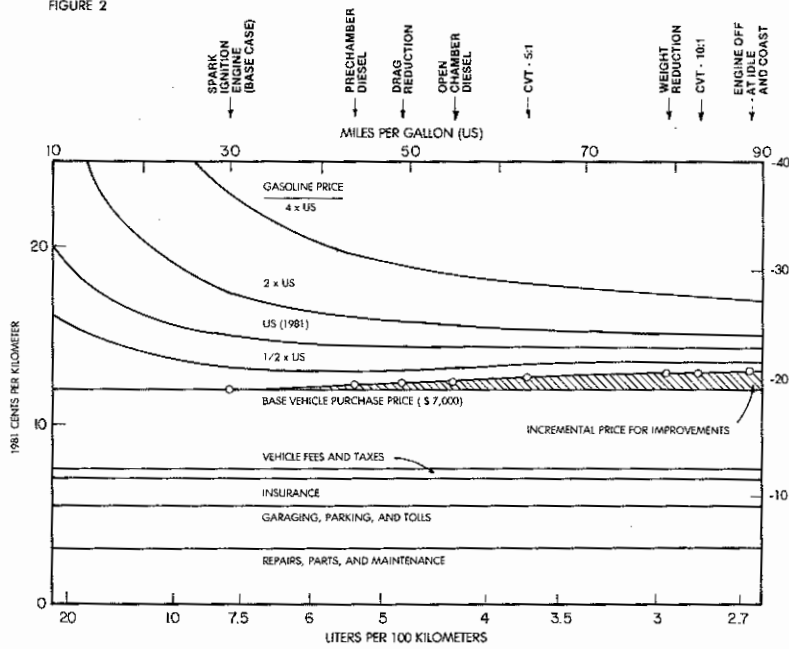
FIGURE 1



OPEC pricing behavior: percentage change from previous year in the real world oil price vs percent of OPEC production capacity used. The percentage of capacity use is equal to crude oil production divided by maximum sustainable production for that year.

SOURCE: (101)

FIGURE 2



The total cost of driving as a function of the average fuel efficiency, for three fuel prices (the 1981 US level, twice this level, and half this level). The shaded area represents the added initial cost for fuel economy improvements. Based on a computer simulation, with the base car taken to be a 1981 Volkswagen Rabbit with a gasoline engine, for which the fuel economy is 7.9 liter per 100 km (30 mpg.)
 SOURCE: (39)