



La agenda ambiental(*)

Dean Abrahamson

Dean Abrahamson es profesor de Asuntos Públicos en el H. Humphrey Institute of Public Affairs, University of Minnesota. Además, se desempeña como Profesor visitante del Departamento de Estudios de Medio Ambiente y Sistemas de Energía, Lund University, Institute of Science & Technology y es miembro del Directorio del Consejo de Defensa de los Recursos Naturales.

La Fundación Joyce Mertz-Gilmore ha colaborado con mi trabajo durante muchos años; reconozco agradecido este apoyo.

El Instituto Humphrey de la Universidad de Minnesota está abierto a diversas opiniones y aspiraciones. El Instituto mismo no toma posiciones sobre temas de política relacionados con el sector público. Los contenidos de este trabajo son responsabilidad del autor.

(*) Partes de este trabajo fueron publicadas anteriormente en Dean Abrahamson, «El Nuevo Programa Ambiental», *Juez y Jurado de Minnesota*, Vol. 47, N° 6, pp. 22-27, julio 1990, y Dean Abrahamson, «Los Riesgos Exigen Acción», *Health and Environment Digest*, Vol. 5, N° 3, pp. 5-6: abril 1991.

Introducción

Ricardo Katz, al invitarme a hacer esta presentación, me pidió que diera mi opinión sobre «el cuadro general de los problemas globales y locales del medio ambiente». He intentado cumplir con su petición.

El énfasis recae aquí sobre la política de recursos energéticos y sus consecuencias en el medio ambiente. Esto se debe, en parte, a que ésta es mi principal especialidad, pero también a que el origen de muchos problemas locales y globales del medio ambiente pueden ser encontrados directamente en las elecciones que hemos hecho en el pasado respecto del abastecimiento de energía primaria y en cómo hemos manejado, o no hemos logrado manejar, los diversos ciclos energéticos. Por mucho tiempo, la energía ha jugado un papel principal en el desarrollo industrial y en la influencia sobre la economía y planificación estratégica internacional.

Hoy en día nuestros sistemas de energía son reconocidos como una causa fundamental de los problemas locales y globales del medio ambiente.

Se pone mucho énfasis en la necesidad de limitar el cambio climático global. Este es el desafío ambiental potencialmente más perturbador que enfrenta actualmente la sociedad. Le recuerdo al lector que el calificativo —si la comprensión científica actual del efecto invernadero y del cambio climático global es aproximadamente correcta, y si las sociedades eligen intentar y evitar lo que podrían ser efectos catastróficos del cambio climático, entonces... — podría ser inserto en diversas partes a lo largo de este trabajo.

El problema

Hace un siglo, la contaminación era principalmente un asunto de basura en el patio de atrás. El ambientalismo encontró su expresión a través de la conservación de paisajes únicos, como parques nacionales, y de la creación de zoológicos y monumentos. Hoy en día la biodiversidad global y ecosistemas completos se están perdiendo como resultado de la rápida expansión de la iniciativa humana.

Hacia los años 50, la contaminación comenzó a afectar grandes áreas, cuencas de ríos y cuencas atmosféricas completas, y se emprendieron los primeros esfuerzos serios para estudiar estos «insultos» en muchos países. Los años 70 hicieron comprender que la contaminación era una amenaza importante para la salud,¹ el bienestar económico y nuestro patrimonio natural. Las instituciones establecidas en ese tiempo —el Programa Ambiental de las Naciones Unidas (UNEP), organismos nacionales y locales para el control de la contaminación y una serie de organizaciones no gubernamentales— han sido testigos de un empeoramiento general de la contaminación, a pesar de los grandes gastos en talento y dinero,² en gran medida porque nuestros esfuerzos no se han centrado en reducir la contaminación en sus orígenes.³

Es doloroso darse cuenta de que los temas convencionales de contaminación —aprovechamiento del agua, residuos sólidos, contaminación del aire, lluvia ácida y otros— son de alguna manera triviales, y, sin embargo, el manejo que hemos hecho de ellos ha sido trágico. Son triviales no en sus consecuencias, sino porque hemos sabido de sus causas, de los efectos, de los impactos; hemos tenido los conocimientos para corregir esas situaciones, y hemos sabido los costos económicos tanto de los efectos como de las soluciones; sin embargo, no hemos logrado elegir políticas racionales respecto del medio ambiente y de los recursos naturales.

¹ Leaf Alexander, *Potential Health Effects of Global Climatic and Environmental Change*, New England Journal of Medicine 321(23), pp. 1.577-1.583 (7 dic. 1989); White James C. [ed], *Global Atmospheric Change and Public Health*, Elsevier, Nueva York (1990).

² Para una discusión especialmente lúcida, véase: Commoner, B. *Making Peace with the Planet*, The New Press, Nueva York (1992).

³ Véase, por ejemplo: U.S. Environmental Protection Agency, *Pollution Prevention Policy Statement*, 54 FR 3845, United States Federal Register, Washington, D.C. (26 enero 1989).

Casi todas las políticas para el control de la contaminación y para la asignación de recursos han sido orientadas por análisis microeconómicos, neoclásicos convencionales. Estos, casi sin excepción, no conceden valor al agotamiento de recursos naturales, no incluyen costos ambientales y sociales externos y descartan el futuro para dejar realmente los beneficios ambientales posteriores en cero.⁴ El resultado ha sido una serie de concesiones (*tradeoffs*) en el margen, echando pedazo a pedazo nuestro capital de recursos naturales en hogueras alimentadas por intereses económicos de corto plazo.⁵ Entre las conclusiones más perversas que resultan de la toma de decisiones microeconómicas tradicionales en el área del medio ambiente se encuentra la de fomentar la migración de industrias sucias a países en vías de desarrollo.⁶

Como si esto no fuera suficiente, sabemos hoy que el programa ambiental incluye no sólo los temas tradicionales de conservación y control de la contaminación —y que cada día se hacen más graves—, sino también los cambios provocados por el hombre que afectan sistemas globales completos. Estos temas —cambio climático global, agotamiento del ozono estratosférico, pérdida de la diversidad biológica, acumulación general de productos químicos tóxicos— son fundamentalmente diferentes de los temas convencionales de contaminación. Amenazan la integridad de sistemas globales completos, de los cuales dependen todos los sistemas biológicos, económicos y políticos. Están haciendo que, globalmente, todos los países sean vulnerables a las acciones de todos los demás. Son irreversibles en tiempos de pertinencia social, política y económica, y no tienen soluciones técnicas, en el sentido de que las

⁴ R. Repetto, «Accounting for Environmental Assets», *Scientific American* 266, pp. 64-70 (junio 1992); H. Daly, y J. B. Cobb, *For the Common Good; Redirecting the Economy Towards Community, The Environment, and a Sustainable Future*, Beacon Press, Boston (1989); J. von Amsberg, *The Economic Evaluation of Natural Capital Depletion: An Application of the Sustainability Principle*, University of British Columbia Faculty of Commerce and Business Administration, pp. 402-2.053, Canadá, manuscrito (23 julio 1992).

⁵ H. E. Daly, *Steady-State Economics* (2nd Ed.), Island Press, Washington, D.C. (1991).

⁶ Un reciente informe sobre esta conclusión formó parte de un memorándum escrito por Lawrence Summers, economista jefe del Banco Mundial, y apareció publicado en *The Economist*, 8 febrero 1992, U.K. página 8, y 15 de febrero 1992, U.K. páginas 4 y 14.

tecnologías convencionales para el control de la contaminación vayan a reducirlos efectos.

Los temas ambientales locales y mundiales son similares porque se originan del uso continuo de tecnologías erróneas que se utilizan para lograr el objetivo equivocado (crecimiento en vez de desarrollo). Estos problemas no pueden ser solucionados agregando un dispositivo en el extremo de un tubo de desagüe o chimenea o perdiendo el tiempo en el margen microeconómico. La solución exige reducir el uso de, y en algunos casos abandonar, las tecnologías que han dado origen a los problemas y desarrollar nuevos medios para lograr más bien un desarrollo equitativo antes que simplemente un crecimiento.

El aumento observado en las concentraciones atmosféricas de dióxido de carbono, metano y otros gases de invernadero significa que las emisiones provenientes de actividades humanas son más numerosas de lo que la Tierra es capaz de eliminar.

Se ha excedido un límite de crecimiento.⁷ El uso de nuestros actuales medios de producción por parte de la población en aumento a nivel mundial y su creciente consumo per cápita han producido insultos al medio ambiente que, evidentemente, no son sostenibles.

Los límites y sus consecuencias están siendo reconocidos. Asimismo, se considera que los límites al crecimiento no son límites al desarrollo. Se puede afirmar que el reconocimiento más importante a la fecha ha sido la Convención Internacional sobre Cambio Climático, que exige la más amplia cooperación posible de todos los países y su participación eficaz en buscar respuestas a fin de proteger el sistema climático para las generaciones presentes y futuras.

La respuesta al cambio climático global

Las actividades humanas arrojan a la atmósfera una cantidad de contaminantes que bloquean el calor. El resultado es una Tierra más caliente, la que tendrá un clima distinto, diferentes patrones de precipitación, una mayor frecuencia de acontecimientos climáticos que en el pasado se consideraban extremos: diferentes caudales de ríos,

⁷ Dean Abrahamson, *The Challenge of Global Warming*, Island Press, Washington, D. C. (1989).



diferentes niveles de lagos, diferente nivel del mar, diferentes bosques, diferentes condiciones para la agricultura, diferente distribución geográfica para los insectos. Las condiciones límites dentro de las cuales han evolucionado los sistemas ecológicos y humanos durante miles de años están cambiando rápidamente.⁸

El efecto invernadero ha sido estudiado y comprendido por cerca de cien años.⁹ La base científica para el cambio climático que resulta del efecto invernadero ha sido sometida a repetidas revisiones por parte de instituciones científicas competentes en muchos países.¹⁰ La Organización Meteorológica Mundial (WMO) y el Programa Ambiental de las Naciones Unidas (UNEP) auspiciaron un Foro Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC) y concluyeron:¹¹

Estamos seguros de lo siguiente:

- Existe un efecto de invernadero natural que ya mantiene a la Tierra más caliente de lo que normalmente estaría.
- Las emisiones provocadas por las actividades humanas están aumentando substancialmente las concentraciones atmosféricas de los gases de invernadero: dióxido de carbono, metano, clorofluorocarbonos (CFCs) y óxido nitroso. Estos aumentos van a intensificar el efecto de invernadero, provocando, en promedio, un calentamiento adicional de la superficie de la

⁸ Los resúmenes más completos son los del Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC):

J. T. Houghton, *et al.* [eds], *Climate Change: The IPCC Scientific Assessment*, Cambridge University Press, Cambridge (1990).

W. J. McG. Tegar, *et al.* (eds.), *Climate Change: The IPCC Impacts Assessment*, Australian Government Printing Service, Canberra (1990)

J. T. Houghton, *et al.* [eds], *Climate Change 1992: The Supplementary Report to the IPCC Scientific Assessment*, Cambridge University Press, Cambridge (1992).

⁹ Arrhenius, S., «On the Influence of Carbonic Acid in the Air Upon the Temperature of the Ground», *London, Edinburgh and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science*, pp. 237-276 (1886).

¹⁰ Los de la U.S. National Academy of Sciences/National Research Council incluyen: *Carbón Dioxide and Climate: A Scientific Assessment* (1979); *Carbón Dioxide and Climate: A Second Assessment* (1982); *Changing Climate* (1983); *Current Issues in Atmospheric Change* (1987), todos de la National Academy Press, Washington, D.C.

¹¹ IPCC, *op cit.*

Tierra. El principal gas de invernadero, el vapor de agua, aumentará en respuesta al calentamiento global y lo intensificará aún más.

Existen, por supuesto, dudas sobre la magnitud y *timing* del calentamiento global y sobre los detalles de los cambios resultantes en otros parámetros climáticos. Las dudas han sugerido respuestas de políticas, aunque algunos argumentan que ellas son demasiadas para justificar la acción en este momento, o que el costo económico de reducir el efecto invernadero y otros contaminantes globales es simplemente muy alto. William Cooper, miembro del Consejo Asesor de Ciencias de la Agencia para la Protección del Medio Ambiente en Estados Unidos, resumió:¹²

[Con temas tales como el cambio climático global] uno no se preocupa de estar en lo correcto. Simplemente no se quiere estar equivocado. Cuando el costo de estar equivocado se hace demasiado alto, uno evita el riesgo sin importar el costo.

La evidencia científica ha sido considerada suficiente para provocar esfuerzos nacionales e internacionales para reducir las emisiones de gases de invernadero, como un primer paso hacia la estabilización de las concentraciones atmosféricas de los gases de invernadero más importantes. Más de veinte países ya se han comprometido a reducir sus emisiones, en algunos casos en veinte por ciento o más para la próxima década, como un primer paso hacia las reducciones que se necesitarán para estabilizar las concentraciones de gases de invernadero en la atmósfera.¹³ Prácticamente todos estos compromisos se llevarán a cabo reduciendo el consumo de petróleo y carbón, que son las fuentes de más de la mitad de todos los gases de invernadero, a través de mejoramientos rentables para lograr un uso final eficiente de energía, y cambiando a gas natural como parte de la transición a un suministro de energía renovable libre de gases de invernadero, basado en la energía solar.

¹² Según lo citado en William Stevens, «What Really Threatens the Environment?». *New York Times*, B7 (29 enero 1991).

¹³ Véase por ejemplo, *Carbón Dioxide Stabilization/Reduction Targets*, World Resource Institute, Washington, D.C. (10 de enero 1991).

Hoy en día, el compromiso de reducir las emisiones de gases de invernadero es reconocido formalmente como un objetivo mundial:¹⁴

El objetivo final de esta Convención [Internacional sobre Cambio Climático]... es lograr... la estabilización de las concentraciones de gases de invernadero en la atmósfera a un nivel que evitaría una peligrosa interferencia antropogénica con el sistema climático... a fin de permitir que los ecosistemas se adapten en forma natural al cambio climático, para asegurar que la producción de alimentos no se vea amenazada, y para hacer posible que el desarrollo económico prosiga de una manera sostenible.

Este objetivo orientará —y hará necesarias— cada vez más políticas ambientales, industriales y de desarrollo.

Estabilización de las concentraciones de gases de invernadero

El IPCC ha calculado las reducciones de emisiones que serían necesarias para estabilizar las concentraciones atmosféricas de los principales gases de invernadero. Las emisiones de dióxido de carbono tendrían que reducirse en más de 60%; las emisiones de metano en 15 a 20%; el óxido nitroso en 70 a 80%; las emisiones de los principales CFCs tendrían que eliminarse y tendrían que lograrse grandes reducciones en las emisiones de los otros gases de invernadero.¹⁵

Esto parece benigno, siempre que el tema sea proyectado en los términos abstractos de los contaminantes químicos. No nos relacionamos muy bien con ellos. Sin embargo, sí lo hacemos íntimamente con las actividades que dan origen a estos contaminantes.

El uso de combustible fósil produce emisiones de dióxido de carbono, metano, óxido nitroso, y es responsable de casi todo el ozono troposférico. El uso de combustible fósil produce alrededor de 60% del calentamiento global.

¹⁴ *Framework Convention on Climate Change*, Artículo 2.

¹⁵ IPCC, *op cit.*

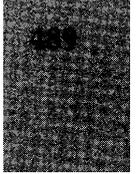
La deforestación, destrucción de bosques de edad madura, en el noroeste de Estados Unidos, Canadá, Siberia, los trópicos y en otras partes, producen dióxido de carbono, metano y otros gases de invernadero. El uso de fertilizantes de nitrógeno en la agricultura, y otras fuentes de nitrógeno del suelo, produce gran parte de las liberaciones de óxido nitroso. La agricultura también es responsable de grandes emisiones de metano. Las prácticas agrícolas son responsables de aproximadamente 15% del calentamiento de invernadero, y la deforestación de otro 10%.

El análisis del IPCC demostró que lograr la estabilización de las concentraciones atmosféricas de los principales gases de invernadero para el año 2100 requerirá:¹⁶

- Un cambio de fuentes de energía fósil a no fósil en la primera mitad del próximo siglo.
- Lograr grandes aumentos en la eficacia del uso final de energía.
- Controles rigurosos de las emisiones de monóxido de carbono.
- Detener la deforestación y comenzar la reforestación.
- Eliminar progresivamente los CFCs.
- Implementar medidas para reducir las emisiones de gases de invernadero provenientes de la agricultura.

Estas medidas también contribuirán en amplio margen a la resolución de muchos «insultos» tradicionales al medio ambiente. La contaminación del aire en las ciudades, la lluvia ácida, los derrames de petróleo, las presiones en parques y otras áreas naturales serán todos disminuidos en forma paralela a la reducción en el uso de combustible fósil. Detener la destrucción de bosques de edad madura sería de gran utilidad para reducir la velocidad de extinción de las especies. Las presiones sobre parques y áreas naturales se reducirán a medida que la demanda de combustible fósil disminuya. El agotamiento del ozono estratosférico se reducirá a medida que se disminuyan las emisiones de los CFCs.

¹⁶ IPCC Scientific Assessment (1990), *op cit.*, en definiciones de escenarios.



Consecuencias para una política de energía

El uso de energía ha sido un índice directo de la producción industrial que ha crecido casi 50 veces en los últimos 100 años. Cuatro quintos de ese crecimiento vienen desde 1950, casi todo basado en combustibles fósiles.

Actualmente, el uso de combustible fósil produce aproximadamente el 80% de la energía primaria mundial y es responsable de cerca del 60% del calentamiento de invernadero. La mayoría de las naciones está proyectando grandes aumentos en la quema de carbón,¹⁷ aunque se sabe que éste es el más nocivo de los combustibles fósiles convencionales, desde el punto de vista de su efecto en el medio ambiente en general y desde su efecto de invernadero en particular. A menos que nuestra comprensión científica del efecto invernadero esté tremendamente equivocada, la limitación del cambio climático global requiere que la quema de carbón sea restringida lo más rápidamente posible y que el uso global de los otros combustibles fósiles sea reducido a una fracción de los niveles actuales.

De manera que, ¿dónde obtener nuestra energía? Si los combustibles fósiles deben permanecer en la tierra, sólo existen otras dos fuentes de energía primaria capaces de desplazarlos: la energía nuclear con reactores reproductores y las fuentes de energía renovable. Hay muchas fuentes de energía renovable (geotérmica, mareas, hidrofuerza, energía eólica, células fotovoltaicas, biomasa, calefacción solar directa). La biomasa, la energía eólica y la conversión fotovoltaica tienen el potencial para satisfacer una gran parte de las necesidades energéticas mundiales.

La opción nuclear

El grupo de presión pro energía nuclear está tratando de sacar partido del efecto de invernadero,¹⁸ pero la energía nuclear carga,

¹⁷ Para una visión «negocios como de costumbre» de nuestro futuro energético, véase, por ejemplo: C. Starr, M. F. Searl y S. Alpert «Energy Sources: A Realistic Outlook», *Science* 256, pp. 981-987 (15 mayo 1992).

¹⁸ Véase, por ejemplo: *Strategic Plan for Building New Nuclear Power Plants*, Nuclear Power Oversight Committee, Washington, D.C. (noviembre 1990).

a su vez, con serios problemas técnicos, ambientales, políticos y de salud pública.

Se producen grandes cantidades de residuos radiactivos tóxicos y, a pesar de casi cuarenta años de trabajo, aún no existe en el mundo un depósito para desechos de alta radiactividad.¹⁹

Los accidentes en Chernobyl, Three-Mile Island y en otros lugares han dado pruebas fehacientes de lo inapropiado de los sistemas reactores actuales. Una nueva generación de reactores, que, se afirma, son intrínsecamente seguros, está en borradores, pero tales afirmaciones deben ser confirmadas.²⁰

El aislamiento de desechos radiactivos y reactores más seguros son por lo menos teóricamente susceptibles de ser sometidos a evaluaciones técnicas, pero el riesgo irreductible de la energía nuclear es la proliferación de armas y la desviación de los combustibles nucleares.²¹ Un compromiso global con la energía nuclear—incluso si fuera económica y técnicamente posible— probablemente tendría la consecuencia de que cualquiera que quisiera contar con armas nucleares tendría acceso a ellas. Esto incluye no sólo a los estados-naciones, muchos de los cuales podrían tener hoy estas armas si realmente las quisieran, sino también a las organizaciones subnacionales. Como aparentemente no hay solución para este problema, el único remedio sería el enérgico ejercicio de los poderes policiales del Estado.²² Son estas inquietudes las que han hecho que la energía nuclear no sea aceptada, salvo muy pocas excepciones, ya sea en la comunidad o en el mercado.²³

¹⁹ W. Hafele, «Energy from Nuclear Power», pp. 95-106 en *Energy for Planet Earth*, W.H. Freeman and Co., New York (1991).

²⁰ A. Martensson, «Inherently Safe Reactors», *Energy Policy*, pp. 660-671 (julio 1992).

²¹ R. H. Williams, y H. A. Feiveson, «How to Expand Nuclear Power without Proliferation», *The Bulletin of the Atomic Scientists* 46, pp. 40-45 (1990).

²² Russell W. Ayres, «Policing Plutonium: The Civil Liberties Fallout», *Harvard Civil Rights-Civil Liberties Law Review* 10, pp. 369-443 (1975).

²³ Para un análisis reciente, véase H.W. Kendall, «The Failure of Nuclear Power», pp. 163-218 en *Risk, Organizations and Society*, M. Shubik [ed], Kluwer Academic Publishers, Boston (1991); Un análisis detallado de las medidas consideradas necesarias si la energía nuclear ha de tener futuro se encuentra en: Committee on Future Nuclear Power Development, *Nuclear Power: Technical and Institutional Options for the Future*, National Academy Press, Washington, D. C. (1992).

Fuentes de energía renovable

Hace una década no habría sido creíble afirmar que existía la tecnología para satisfacer económicamente las necesidades energéticas globales con fuentes de energía renovable. Ya no más. Un importante análisis, encargado por la Asamblea General de las Naciones Unidas y realizado por expertos de reconocimiento internacional, como contribución a la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo (UNCED), concluyó:²⁴

Si la economía mundial se expande para satisfacer las aspiraciones de los países alrededor del globo terráqueo, es probable que la demanda de energía aumente aun cuando se hagan grandes esfuerzos por aumentar la eficiencia en el uso de energía. Con el respaldo adecuado, las tecnologías de energía renovable pueden satisfacer gran parte de la creciente demanda a precios más bajos que los que generalmente se prevén para la energía convencional. A mediados del siglo 21, las fuentes de energía renovable podrían representar tres quintos del mercado de electricidad del mundo y dos quintos del mercado de combustibles usados directamente. Además, una transición hacia un sistema de energía centrado en las fuentes de energía renovable proporcionaría beneficios ambientales no medidos en las cuentas económicas ordinarias... y dichos beneficios podrían ser logrados sin costo adicional.

La conclusión del Grupo de Energía Solar de las Naciones Unidas (UNSEG) no es única. La Conferencia de Energía Mundial (WEC) de 1992 ha evaluado también el potencial para las fuentes de energía renovable, y ha concluido que si las políticas de suministro de energía llegan a ser impulsadas por inquietudes ecológicas, para el año 2030 las fuentes de energía renovable podrían suministrar el 30 % de toda la

²⁴ T. B. Johansson, H. Kelly, A. K. N. Reddy y R. H. Williams, «Renewable Fuels and Electricity for a Growing World Economy: defining and Achieving the Potential», Capítulo 1 en: United Nations Solar Energy Group for Environment and Development, *Renewables for Fuels and Electricity*, T. B. Johansson *et al.* [eds], Island Press, Washington, D.C. (1992).

energía primaria global.²⁵ Esta conclusión no tiene grandes diferencias con la del UNSEG.

Latinoamérica está en una posición particularmente favorable para reemplazar el suministro de energía convencional por fuentes de energía renovable. El estudio hecho por las Naciones Unidas en 1992 estimó que, para el año 2050, el 56% de la electricidad de Latinoamérica y el 80% de los combustibles usados directamente pueden ser económicamente producidos a partir de fuentes de energía renovable, en su mayor parte de biomasa. [Apéndice A] Esto se podría lograr mientras se suministra la energía necesaria para sostener los aumentos de población previstos y un gran aumento del PIB per cápita. Este cambio a fuentes de energía renovable también reducirá las emisiones de dióxido de carbono per cápita en aproximadamente 50%; la contaminación del aire se reduciría bastante, mejoraría la balanza de pagos y la seguridad nacional, y se crearían trabajos productivos.

Es importante reconocer las consecuencias para el desarrollo económico de las fuentes de energía renovable. El grupo de Energía Solar de las Naciones Unidas incluye, dentro de los «Beneficios de la Energía Renovable no Captados en las Cuentas Económicas Ordinarias», lo siguiente:²⁶

La producción de energía renovable, particularmente de biomasa, puede proveer desarrollo económico y oportunidades de empleo, especialmente en zonas rurales, que de lo contrario tienen pocas oportunidades de crecimiento económico. De este modo, la energía renovable puede contribuir a reducir la pobreza en zonas rurales y a reducir las presiones para emigrar a las ciudades.

Una oportunidad para Chile: Metanol de los árboles

Chile tiene una excelente oportunidad para dar los primeros pasos hacia la independencia de los productos importados derivados del petróleo, para generar empleos y desarrollo, y para hacer importantes reducciones en las emisiones de gases de invernadero prove-

²⁵ World Energy Conference Commission, *Energy for Tomorrow's World: Draft Summary Global Report*, World Energy Conference, Londres (septiembre 1992).

²⁶ UNSEG, *op. cit.* en Capítulo 1.



nientes de la producción de energía, a través del cultivo y conversión de biomasa en metanol a fin de desplazar los combustibles de petróleo utilizados en el sector transportes.

La dependencia respecto de los combustibles fósiles para transporte conduce a temas de seguridad nacional y de balanza de pagos, contaminación del aire en las ciudades, cambio climático global ocasionado por gases de invernadero y a otros gastos externos relacionados con el medio ambiente. Todos estos problemas se reducirán en gran medida y algunos desaparecerán con el reemplazo de combustibles fósiles por energéticos renovables.

Uno de los combustibles alternativos más atractivos es el alcohol metílico (metanol) producido a partir de biomasa, la que se cultivaría ininterrumpidamente, se gasificaría y luego los productos gaseosos se convertirían en metanol. Esto constituiría el primer gran paso de Chile hacia la conversión de combustibles para transporte, desde los basados en el petróleo a combustibles renovables.

Especialmente significativas son las reducciones en las emisiones de dióxido de carbono y de partículas. El metanol producido de biomasa y utilizado en vehículos de transporte producirá poca o ninguna emisión neta de dióxido de carbono si la biomasa se cultiva a la misma velocidad promedio a la que se consume como metanol.

Si todo el petróleo para transporte usado hoy en Chile fuera reemplazado por metanol derivado de biomasa, las emisiones de dióxido de carbono en Chile llegarían a unos 9 millones de toneladas o aproximadamente 30% más bajas que en la actualidad. Las materias básicas de biomasa requeridas anualmente para producir esta cantidad de metanol alcanzarían unos 17 millones de metros cúbicos, lo cual representa alrededor de 30% del crecimiento progresivo anual actual total estimado (56 millones m³) en los 5,5 millones de hectáreas arboladas en Chile. Adicionalmente, unos 4 millones de hectáreas de tierra previamente plantada podrían ser recuperadas en bosque productivo. Si se incluye la producción potencial de biomasa en esta zona, los requerimientos de materias básicas de biomasa para la producción de metanol serían menos de 15% del crecimiento progresivo anual potencial total de árboles en Chile.

El metanol también tiene beneficios relacionados con la contaminación local cuando se utiliza como combustible para el transporte en motores de combustión interna. Especialmente significativas son las reducciones de material particulado cuando se utiliza metanol

en vez de combustible diesel. En el largo plazo el metanol podría ser usado como un portador del hidrógeno utilizado en vehículos con células energéticas, que producirían vapor de agua como única emisión del tubo de escape.

Otros beneficios posibles de la producción de metanol a partir de biomasa incluyen la generación de empleos asociados con la producción de árboles: recuperación de la tierra, si es que los árboles se cultivan en tierras actualmente deforestadas o empobrecidas; ahorro de divisas al no importar petróleo; una mayor seguridad en el abastecimiento de combustible para vehículos, y en el largo plazo, a medida que el metanol pase a ser un producto energético global importante, Chile podría convertirse en un proveedor global de importancia. En el mediano plazo, la biomasa y el gas natural podrían llegar a ser fuentes complementarias del metanol en Chile, asumiendo la biomasa el rol dominante en un plazo más largo.

Las estimaciones preliminares del costo para producir metanol a partir de biomasa usando gasificadores indirectamente calentados indican que se podría producir metanol a un valor entre US\$ 7/GJ (US\$ 0,13/litro) y US\$ 10/GJ (US\$ 0,18/litro), asumiendo 15% de tasa de descuento del capital y un costo de materias básicas de US\$ 2/GJ (US\$ 40/toneladas secas, precio típico de las astillas derivadas de plantaciones puestas en el aserradero en Chile hoy). La estimación de costos más baja es para una capacidad de planta de 9.000 toneladas secas/día alimentadas a leña (5.000 toneladas/día de producción de metanol). El costo más alto es para una capacidad de planta de 1.650 toneladas secas/día alimentadas a leña (950 toneladas/día de metanol). Debido a que el metanol tiene una densidad volumétrica de energía que es aproximadamente la mitad de la de la gasolina, y a que los motores de combustión interna a metanol serían cerca del 20% más eficientes que los vehículos a gasolina, el costo del metanol sobre una base por litro debe ser 0,6 ($0,5 \times 1,2 =$) veces el costo de la gasolina para ser considerado competitivo en función de los costos con la gasolina. Así, para un costo de producción de metanol de US\$ 0,13-0,18/litro, el costo equivalente en gasolina sería de US\$ 0,21-0,30/litro. Para hacer una comparación, con el petróleo crudo a US\$ 25/barril, el costo de la producción de gasolina es de aproximadamente US\$ 0,20/litro. El costo de producir gasolina reformulada es alrededor de US\$ 0,24/litro.

El metanol a partir de biomasa no sería competitivo en términos de costos con el gas natural, a menos que los costos del gas

fueran mayores que US\$ 2/GJ (sin considerar el costo ambiental de las externalidades asociadas con los combustibles fósiles). Sin embargo, a medida que el gas natural y el petróleo se hacen cada vez más escasos, se puede esperar que los precios del gas aumenten sobre US\$ 2/GJ. Por otro lado, el metanol producido de biomasa hoy sería menos costoso que el metanol producido de carbón.

El metanol derivado de gas de bajo costo en Chile podría, en un mediano plazo, complementar al metanol derivado de biomasa. Sin embargo, la biomasa será de interés a largo plazo, ya que el uso de gas natural para producir metanol proporciona poco o ningún beneficio de invernadero en relación a la gasolina.

Aumento de la eficiencia en el uso final de la energía

Aumentar la eficiencia con la cual se usa la energía también es importante. A la mayoría de nosotros no nos preocupa la energía, pero sí nos interesan los servicios que ella provee —trabajos, industrias eficientes, iluminación, calefacción, transporte, cerveza helada, sistemas amplificadores, baños calientes— y actualmente existen miles de tecnologías y técnicas para reducir el consumo de energía sin pérdida en el nivel de los servicios energéticos.²⁷

La iluminación consume entre el 10 y 20% de la electricidad usada en los países industrializados. Casi todas nuestras casas, oficinas, fábricas, edificios institucionales y comerciales son iluminados con ampolletas convencionales incandescentes o fluorescentes. Las ampolletas fluorescentes compactas, las resistencias electrónicas, y otros dispositivos que hoy existen en el mercado, pueden proveer la misma calidad y cantidad de iluminación, al mismo tiempo que reducen el consumo de energía y la contaminación hasta el 80%, disminuyendo, a la vez, en gran parte el costo económico de la iluminación.²⁸

Hay muchos otros ejemplos. Los motores eléctricos son,

²⁷ T. B. Johansson, B. Bodlund y R. H. Williams [eds]. *Electricity: Efficient End-Use and New Generation Technologies and Their Planning Implications*. Lund University Press, Lund, Suecia (1989); Un resumen reciente de algunas de las principales opciones se encuentra en el apéndice a: Panel on Policy Implications of Greenhouse Warming: *Policy Implications of Greenhouse Warming, Mitigation, Adaptation and the Science Base*, National Academy Press, Washington, D. C. (1992).

²⁸ T. McGowan, «Energy-Efficient Lighting», pp. 59-88 en Johansson *et al.* (1989), *op cit.*

generalmente, responsables de dos tercios de todo el uso de electricidad (60% en Chile), y hasta del 70% de la electricidad usada en la industria.²⁹ Una estimación muy conservadora es que 20% del uso de electricidad puede ser ahorrado en función de los costos a través de mejoramientos de la eficiencia.³⁰

Existen ahorros comparables de energía, económicos y de impacto ambiental para proveer de prácticamente todos los principales servicios energéticos y ahorrar dinero y crear empleos, tanto en los países industrializados como en los no industrializados.³¹

Enfrentando el inevitable cambio climático

Hay, desgraciadamente, todavía otro tema importante que en este momento está en nuestro programa ambiental. Un considerable cambio climático es inevitable por los gases de invernadero que ya están en la atmósfera y que con seguridad se van a arrojar mientras se discuten y ponen en marcha las políticas para la reducción de emisiones.³² El ya inevitable cambio climático tendrá significativos efectos en los sistemas económicos, sociales y ecológicos sensibles al clima. Estos incluyen agricultura, silvicultura, empresas pesqueras, recursos de agua, producción de energía, salud, distribución de plagas y vectores de enfermedad, turismo, etc.³³

Si tenemos la gran suerte de que el extremo más favorable de los parámetros en los actuales modelos climáticos a la larga resulte ser real, y los *feedbacks* no incluidos en los modelos actuales resultan

²⁹ Para un análisis general, véase: S. F. Baldwin, «Energy-Efficient Electric Motor Drive Systems», pp. 21-58 en Johansson *et al.* (1989 *op. cit.*).

³⁰ La Global Environment Facility (GEF) de las Naciones Unidas ha aprobado un proyecto de US\$ 12 millones para comenzar la explotación de motores eléctricos de mayor eficiencia en el sector minero chileno.

³¹ J. T. Goldemberg, B. Johansson, A. K. N. Reddy y R. H. Williams, *Energyfor a Sustainable World*, Wiley Eastern, Nueva Delhi (1988). Una versión condensada ha sido publicada como *Energyfor a Sustainable World and Energyfor Development*, World Resources Institute, Washington, D.C.

³² V. Ramanathan, «The Greenhouse Theory of Climate Change: A Test by Inadvertent Global Experiment», *Science*, p. 293 (1989); Para un resumen conciso, véase: IPCC, *Policymakers Summary*, en IPCC (1990) *op. cit.*

³³ Véase, por ejemplo: IPCC *Impacts Assessment* (1990), *op. cit.*



anularse entre sí, y si procedemos de acuerdo a políticas eficaces y agresivas para reducir las emisiones de gases de invernadero, el calentamiento global podría estar limitado a dos grados Celsius para el año 2100 con otros dos grados durante varias décadas siguientes.³⁴ Podemos afirmar con confianza que los principales cambios climáticos de invernadero son una certeza.³⁵

Una respuesta inicial mínima

Dos clases de acciones son completamente sostenibles por la evidencia existente: aquellas que van a amortiguar los efectos del cambio climático que ya parece inevitable, y las que apuntan a aminorar los efectos de las medidas para reducir las emisiones de gases de invernadero que, con seguridad, se van a tomar pronto a nivel nacional. Estas acciones también resultarán en un beneficio económico neto y reducirán los efectos ambientales convencionales.

Aun si llegara a haber un efecto de invernadero insignificante, deberíamos hacer una cantidad de cambios en la política de energía. Los clientes no están pagando directamente los costos ambientales producidos por nuestros sistemas de energía, los que en realidad son grandes. Análisis recientes han demostrado que los costos ambientales externos provocados por el uso de carbón y petróleo para producir electricidad pueden ser tan grandes, o más grandes, que el precio pagado por los consumidores por electricidad. Casi todos los análisis de los costos ambientales y de salud originados por la quema de combustibles fósiles han evaluado cuantitativamente sólo los costos de las emisiones en el punto de uso final.³⁶ Cuando se incluyen todos los costos del ciclo energético —gastos militares para asegurar el acceso a los yacimientos petrolíferos y corredores de transporte, derrames de petróleo en el mar,

³⁴ Bajo las presentes condiciones, el calentamiento global medido («realizado») es alrededor de la mitad del calentamiento global de equilibrio. La diferencia se debe principalmente a atraso térmico oceánico. Un escenario con emisiones de invernadero como las actuales, eleva el calentamiento global entre 3 y 6 grados Celcius para el año 2100.

³⁵ J. Hansen, «Prediction of Near Term Climate Evolution: What Can We Tell Decision-makers Now?», *Preparing for Climate Change*, Government Institutes, Inc., Washington, D. C. (1988).

³⁶ R. L. Ottinger *et al*, *Environmental Costs of Electricity*, Oceana Publications, New York (1990).

efectos de la minería y otros—, los costos de los combustibles fósiles no pagados directamente por los consumidores probablemente exceden los costos directos por una cantidad considerable. De alguna manera, éstos deber ser internalizados y controlados completamente.

El estudio de Energía Solar de las Naciones Unidas detalló una cantidad de recomendaciones políticas específicas que consideraba necesarias para captar los posibles ahorros ambientales y económicos ofrecidos por los sistemas de energía renovable. Estas incluían:³⁷

- Subsidios que reducen artificialmente el precio de combustibles que compiten con los de energía renovable; si los subsidios existentes no pueden ser eliminados por razones políticas, las tecnologías de energía renovable deberían recibir incentivos equivalentes.
- Los impuestos, reglamentos y otros instrumentos políticos deberían garantizar que las decisiones del consumidor se basarán en el costo completo de la energía, incluyendo costos ambientales y otros externos que hoy no se reflejan en los precios del mercado.
- El respaldo del gobierno para investigar, desarrollar y demostrar las tecnologías de energía renovable debería aumentar, a fin de reflejar los roles críticos que pueden jugar estas tecnologías en el cumplimiento de objetivos relacionados con energía, desarrollo y medio ambiente. Este apoyo debería ser llevado a cabo en estrecha cooperación con el sector privado.
- Las políticas diseñadas para fomentar el desarrollo de una industria de biocombustibles deben estar estrechamente coordinadas, tanto con los programas nacionales de desarrollo agrícola como con los esfuerzos para recuperar las tierras empobrecidas.
- Los fondos internacionales para desarrollo disponibles para el sector energía deberían ser dirigidos cada vez más a las fuentes de energía renovable.

El estudio de las Naciones Unidas hizo estas recomendaciones a la luz del requerimiento de alto alcance para un desarrollo sostenible:

³⁷ UNSEG, *op. cit.*, en Capítulo 1.

El tema integrador para todas estas iniciativas, sin embargo, debería ser *una* política de energía dirigida a promover un desarrollo sostenible. No será posible proveer la energía necesaria para llevar un nivel de vida decente a los pobres del mundo, o para sostener el bienestar económico de los países industrializados en formas ambientalmente aceptables, si el curso energético actual continúa. El camino hacia una sociedad sostenible requiere un uso más eficiente de la energía y un cambio hacia una variedad de fuentes de energía renovable.

Chile tiene la oportunidad de asumir el rol de líder en la respuesta al cambio global y de dar un gran paso hacia un desarrollo sostenible de su economía energética.

APÉNDICE A

CUADROS RESÚMENES DE LATINOAMÉRICA*

ENERGÍA RENOVABLE - ESCENARIO ENERGÍA INTENSIVA PARA AMÉRICA LATINA

CUADRO 1 PROGRAMA DE CRECIMIENTO PARA PIB PER CÁPITA Y POBLACIÓN PARA AMÉRICA LATINA, CONSIDERANDO TASAS DE CRECIMIENTO IPCC.

	PIB per cápita US\$ 1989	Población millones
1985	2.283	402
2000	3.450	530
2025	7.152	715
2050	15.298	829

* Estos cuadros resúmenes de Latinoamérica fueron hechos por el Grupo de Energía Solar para Medio Ambiente y Desarrollo de las Naciones Unidas, *Fuentes de Energía Renovable para Combustibles y Electricidad*, Johansson, T. B., *et al.* [eds], Island Press, Washington, D.C. (1992), apéndice A del Capítulo 1.

MEDIO AMBIENTE EN DESARROLLO

CUADRO 2 DATOS BÁSICOS PARA ENERGÍA EN AMÉRICA LATINA 1985

	Electricidad ^a TWh por año	Energía ^a Primaria Ej por año	Uso directo combustible ^b Ej por año	Combustible para electricidad ^c Ej por año
Carbón	16,4	0,91	0,73	0,18
Petróleo	65,6	10,07	9,33	0,74
Gas Natural	82,0	2,91	1,99	0,92
Hidro	307,9	3,35	-	-
Nuclear	8,4	0,09	-	-
TOTALES	480,3	17,33	12,05	1,84

a) Datos de [21]

b) Sólo combustibles comerciales.

c) Se supone que la eficiencia promedio de la generación de energía térmica es 32% y que las pérdidas T&D ascienden a 10%.

CUADRO 3 ESCENARIOS IPCC CONSUMO DE ENERGÍA,
AMÉRICA LATINA. (TWh por año)

	Emisiones altas	Políticas aceleradas
1985	432	432
2000	778	722
2025	2.194	1.891
2050	4.944	3.083

CUADRO 4 ESCENARIOS IPCC DE usos DIRECTOS DE COMBUSTIBLE
(SÓLO COMBUSTIBLES COMERCIALES) PARA AMÉRICA LATINA.
(Ej por año)

	Emisiones altas				Políticas aceleradas			
	Sólidos	Líquidos	Gases	Total Combustible	Sólidos	Líquidos	Gases	Total Combustible
1985	0,73	9,33	1,99	12,05	0,73	9,33	1,99	12,05
2000	1,50	14,40	3,50	19,40	1,10	12,60	3,20	16,90
2025	5,20	26,00	10,10	41,30	1,60	21,20	12,60	35,40
2050	7,50	39,70	14,00	61,20	1,20	23,00	17,40	41,60

CUADRO 5 ESCENARIO DE OFERTA DE ELECTRICIDAD PARA AMÉRICA LATINA. (TWh por año)

	1985	2025	2050
Hidro	307,9	505 ^a _b	702 ^a
Petróleo	65,6	-	- _b
Carbón	16,4	- _b	- _b
Nuclear	8,4	33 ^c	33 ^c
Metanol	-	101 ^d	162 ^d
Energía renovable intermitente	-	201 ^e	325 ^e
Caña de azúcar	-	589 ^f	683 ^f
Biomasa	-	409 ^g	649 ^g
Gas natural	82,0	206 ^h	691 ^h
Totales	480,3	2.044 ⁱ	3.245 ⁱ

a) Se supone que por limitaciones ambientales, para 2050 la energía hidroeléctrica se habrá desarrollado a un nivel que es sólo un tercio del potencial económico, alrededor de 2.105 TWh por año [4].

b) Se asume que el petróleo y el carbón serán eliminados gradualmente.

c) En 1989 había 2.245 MW_e de capacidad generadora de energía nuclear en América Latina y 3.804 MW_e adicional en construcción. Se supone que toda esta capacidad es construida y operada a un factor de capacidad promedio de 62% y que no se agregará más capacidad nuclear.

d) Se supone que el metanol usado en turbinas a gas químicamente recuperadas representará 5% de la electricidad en 2025 y 2050, con eficiencias de 55% en 2025 y 60% en 2050. Los correspondientes requerimientos de combustible de metanol son 0,66 exajoules en 2025 y 0,97 exajoules en 2050.

e) Se supone que la energía renovable intermitente (PV, solar, térmica y eólica) representará 10% de la electricidad en 2025 y 2050.

f) Se supone que la producción de caña de azúcar aumenta en proporción a la población, de 460 millones de toneladas en 1985 a 818 millones de toneladas en 2025, y a 949 millones de toneladas en 2050, y que se produce electricidad derivada a partir de residuos de caña a una velocidad de 720 kWh por tonelada de caña usando tecnología BIGASTIG o el equivalente.

g) Se piensa que 20% de la electricidad es abastecida por biomasa en plantas autónomas —42,9% eficiencia (BIGASTIC o equivalente) y 57% eficiencia en 2050 (BIG/FC o equivalente) en 2050—. Los correspondientes requerimientos de biomasa son 3,43 exajoules en 2025 y 4,10 exajoules en 2050.

h) Se supone que el gas natural usado en un ciclo avanzado de turbina a gas representa 5% de la electricidad en 2025 y 2050, con eficiencias de 50% en 2025 y 55% en 2050. Los correspondientes requerimientos de gas natural son 1,48 exajoules en 2025 y 4,52 exajoules en 2050.

i) Del Cuadro 3, suponiendo 7,5% pérdidas T&D en 2025 y 5% pérdidas en 2050.

CUADRO 6 ESCENARIO ABASTECIMIENTO DE COMBUSTIBLE PARA AMÉRICA LATINA. (Ej. por año)

	1985	2025	2050
Combustibles sólidos			
Carbón	0,91	1,60 ^a	1,20 ^a
Residuos de caña para energía	-	5,33 ^b	6,19 ^b
Otra biomasa para energía	-	3,43 ^c	4,10 ^c
Subtotal	0,91	10,36	11,49
Combustibles líquidos			
Petróleo nacional	15,30	9,28 ^d	6,38 ^d
EthOH a partir de caña de azúcar	-	0,44 ^e	0,50 ^e
MeOH a partir de biomasa	-	17,36 ^f	22,30 ^f
Petróleo importado	-5,23	-	-
MeOH importado	-	-5,21 ^f	-5,21 ^f
Subtotal	10,07	21,87 ^g	23,97 ^g
Combustibles gaseosos			
Gas natural nacional	2,91	8,83 ^h	8,83 ^h
Biogás en destilerías de alcohol	-	0,09 ⁱ	0,10 ⁱ
Biogás a partir de estiércol	-	1,84 ^j	2,38 ^j
H2 a partir de biomasa	-	3,32 ^k	10,61 ^k
Subtotal	2,91	14,08 ⁱ	21,92 ⁱ
Emisiones ^m de CO ₂ en MtC	258	340	274
Emisiones de CO ₂ per cápita en tC	0,64	0,48	0,33

a) Uso directo de carbón (véase Cuadro 4) más carbón para generación de energía (véase Cuadro 5)

b) Véase nota f, Cuadro 5.

c) Véase nota g, Cuadro 5.

d) Véase Cuadro 5.

e) Se supone que un tercio de la producción de caña de azúcar (273 millones de toneladas por año en 2025 y 316 millones de toneladas por año en 2050) es dedicado a la producción de alcohol, a una tasa de 70 litros (1,60 guigajoules) por tonelada de caña.

f) Se supone que el metanol es producido a partir de materiales celulósicos vía gasificación termoquímica para responder a (I) las necesidades de combustible líquido no cubiertas por petróleo o metanol a partir de caña de azúcar, más (II) los requerimientos de exportación. Grandes cantidades de terrenos degradados podrían estar disponibles para plantaciones de biomasa en América Latina haciendo posible que América Latina produzca grandes cantidades de metanol para mercados de exportación. Se supone que América Latina representa el 32% del comercio mundial en metanol en 2025 y el 25% en 2050. Suponiendo eficiencias de conversión de 61,9% en 2025 y de 62,9% en 2050, los aportes de biomasa requeridos para la producción de metanol son 28,04 exajoules en 2025 y 35,45 exajoules en 2050. La biomasa requerida sería proporcionada por una mezcla de biomasa forestal, residuos de cereales y biomasa proveniente de plantaciones.

g) El consumo directo de combustible líquido para el Escenario IPCC de Políticas Aceleradas (Cuadro 4) más el metanol requerido para la generación de energía (0,66 exajoules en 2025 y 0,97 exajoules en 2050, nota d, Cuadro 5).

h) Se supone que la producción de gas natural aumenta linealmente hasta 2025 y después permanece constante, con un nivel escogido tal, que un tercio de los recursos estimados de gas se mantienen para 2050.

i) Se supone que se recupera biogás a partir de la destilación en destilerías de alcohol de caña a una tasa de 0,33 gigajoules por tonelada de caña.

j) Se supone que se produce biogás a partir de residuos de estiércol a 90% de la tasa estequiométrica que corresponde a 57% de eficiencia de conversión de energía.

k) Se supone que los requerimientos de combustible gaseoso que exceden lo que puede ser provisto por gas natural y biogás nacional son provistos por hidrógeno derivado de biomasa. Se puede producir hidrógeno a partir de biomasa a una tasa de 0,771 exajoules por exajoule de materiales de biomasa junto con 7,07 TWh de electricidad como subproducto por exajoule de hidrógeno producido. De esta forma se necesitan alrededor de 6,63 exajoules de biomasa para la producción de hidrógeno en 2025 y 12,57 exajoules en 2050.

l) El consumo directo de combustible gaseoso para el Escenario IPCC de Políticas Aceleradas (Cuadro 4) más el gas natural requerido para la generación de energía (1,48 exajoules en 2025 y 4,52 exajoules en 2050, nota h, Cuadro 5).

m) Suponiendo tasas de emisión de CO₂ de 25 MtC por exajoule para carbón, 19,5 MtC por exajoule para petróleo y 13,5 MtC por exajoule para gas natural.