



TECNOLOGÍAS, POLÍTICAS Y MEDIDAS PARA MITIGAR EL CAMBIO CLIMÁTICO

Documento técnico I del IPCC



GRUPO INTERGUBERNAMENTAL DE EXPERTOS SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO



Tecnologías, políticas y medidas para mitigar el cambio climático

Editado por

Robert T. Watson
Banco Mundial

Marufu C. Zinyowera
Servicios Meteorológicos de Zimbabwe

Richard H. Moss
Battelle Pacific Northwest
National Laboratory

Este es un documento técnico del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) preparado en respuesta a una petición de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. El material que contiene ha sido examinado por expertos y gobiernos, pero no considerado por el Grupo para su posible aceptación o aprobación.

Noviembre de 1996

Documento preparado bajo los auspicios del Grupo de Trabajo II del IPCC,
copresidido por el Dr. Robert T. Watson, de Estados Unidos, y el Dr. M.C. Zinyowera, de Zimbabwe.

© 1996, Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático

ISBN: 92-9169-300-6

Índice

<i>Prefacio</i>	v
Resumen técnico	3
Sector de edificios residenciales, comerciales e institucionales	3
Sector de transporte	4
Sector industrial	4
Sector del suministro de energía	5
Sector agrícola	5
Sector forestal	6
Eliminación de desechos sólidos y aguas residuales	6
Instrumentos económicos	7
1. Introducción	9
1.1 Finalidad y contexto	9
1.2 Alcance y organización	9
1.3 Fuentes de información	9
1.4 Medidas consideradas	9
1.5 Criterios para el análisis	11
1.6 Proyecciones de referencia del uso de la energía y de las emisiones de dióxido de carbono	12
2. Sector de edificios residenciales comerciales e institucionales	13
2.1 Introducción	13
2.2 Tecnologías para reducir las emisiones de GEI en el sector de edificios residenciales, comerciales e institucionales	13
2.3 Medidas para reducir las emisiones de GEI en el sector de edificios residenciales, comerciales e institucionales	18
2.4 Reducciones globales de emisiones de carbono aplicando tecnologías y medidas en el sector de edificios residenciales, comerciales e institucionales	21
3. Sector del transporte	23
3.1 Introducción	23
3.2 Tendencias y proyecciones de las emisiones globales de carbono	23
3.3 Tecnologías para reducir las emisiones de GEI en el sector del transporte	24
3.4 Medidas para reducir las emisiones de GEI en el sector del transporte	25
4. Sector industrial	35
4.1 Introducción	35
4.2 Tecnologías para reducir las emisiones de GEI en el sector industrial	35
4.3 Medidas para reducir las emisiones de GEI en el sector industrial	37
4.4 Reducciones de las emisiones globales de carbono aplicando tecnologías y medidas en el sector industrial ..	40
5. Sector de suministro de energía	41
5.1 Introducción	41
5.2 Tecnologías para reducir las emisiones de GEI en el sector de suministro de energía	41
5.3 Medidas para reducir las emisiones de GEI en el sector de suministro de energía	50
6. Sector agrícola	55
6.1 Introducción	55
6.2 Tecnologías para reducir las emisiones de GEI en el sector agrícola	55
6.3 Medidas para reducir las emisiones de GEI en el sector agrícola	59

7. Sector forestal	61
7.1 Introducción	61
7.2 Tecnologías para reducir las emisiones de GEI en el sector forestal	61
7.3 Medidas para reducir las emisiones de GEI en el sector forestal	62
8. Eliminación de desechos sólidos y aguas residuales	69
8.1 Introducción	69
8.2 Opciones técnicas para controlar las emisiones de metano	69
8.3 Medidas para reducir y recuperar metano	70
8.4 Comparación de medidas y políticas alternativas	73
9. Instrumentos económicos	75
9.1 Introducción	75
9.2 Instrumentos económicos a nivel nacional	75
9.3 Instrumentos económicos a nivel internacional	77
9.4 Evaluación de instrumentos económicos	80
9.5 Comparación de permisos/cuotas negociables y sistemas fiscales	81
Apéndices	
A. Proyecciones de referencia	83
B. Documentos del IPCC utilizados como fuente de información	88
C. Acrónimos y abreviaturas	89
D. Unidades	90
E. Glosario de términos	91
Lista de publicaciones del IPCC	93

Prefacio

Este documento técnico sobre tecnologías, políticas y medidas para mitigar el cambio climático del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) se ha preparado en respuesta a una petición del Grupo *ad hoc* sobre el Mandato de Berlín (GAHMB) de la Conferencia de las Partes (CP) de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMCC).

Los documentos técnicos se publican a petición de los órganos de la CP o por iniciativa del IPCC. Se basan en el material que figura ya en informes de evaluación o informes especiales del IPCC y son redactados por autores principales elegidos con tal fin. Se someten a un examen simultáneo de expertos y gobiernos y a un examen final subsiguiente de los gobiernos. La Mesa del IPCC actúa como comité de redacción, para tener la seguridad de que los comentarios examinados son tratados debidamente por los autores principales en el documento técnico final.

La Mesa se reunió en su undécima reunión (Ginebra 7-8 de noviembre de 1996) y consideró los principales comentarios recibidos durante el examen final de los gobiernos. A la luz de sus observaciones y peticiones, los autores principales terminaron el documento técnico. La Mesa expresó su satisfacción porque habían seguido los procedimientos convenidos y autorizó la distribución del documento al GAHMB y su difusión pública posterior.

Tenemos una gran deuda de gratitud con los autores principales que aportaron con toda generosidad su tiempo y terminaron el documento en un período muy breve y con arreglo a lo programado. Damos las gracias a los Copresidentes del Grupo de trabajo II del IPCC, Drs. R. T. Watson y M. C. Zinyowera, que supervisaron tan ardua labor, y a la Mesa del Grupo de trabajo, en particular al Dr. Richard Moss, Jefe del Servicio de Apoyo Técnico del Grupo de trabajo, por su insistencia en el respeto de la calidad y de los plazos.

B. Bolin
Presidente del IPCC

N. Sundararaman
Secretario del IPCC

Tecnologías, políticas y medidas para mitigar el cambio climático

R. T. Watson, M. C. Zinyowera y R. H. Moss (editores)

Este documento ha sido preparado bajo los auspicios del Grupo de Trabajo II del IPCC

Autores principales:

Roberto Acosta Moreno, Cuba; Richard Baron, OIE; Peter Bohn, Suecia; William Chandler, Estados Unidos; Cernon Cole, Estados Unidos; Ogunlade Davidson, Sierra Leona; Gautam Dutt, Argentina; Eric Haites, Canadá; Hisashi Ishitani, Japón; Dina Kruger, Estados Unidos; Marc Levine, Estados Unidos; Li Zhong, China; Laurie Michaelis, OCDE; William Moomaw, Estados Unidos; Jose Roberto Moreira, Brasil; Arvin Mosier, Estados Unidos; Richard Moss, Estados Unidos (TSU); Nebojsa Nakicenovic, IIASA; Lynn Price, Estados Unidos; N. H. Ravindranath, India; Hans-Holger Rogner, IIASA; Jayant Sathaye, Estados Unidos; Priyadarshi Shukla, India; Laura Van Wie McGrory, Estados Unidos (TSU); Ted Williams, Estados Unidos (TSU)

Colaboradores:

Jan Corfee-Morlot, OCDE; James Edmonds, Estados Unidos; Philip Fearnside, Estados Unidos; Robert Friedman, Estados Unidos; Fiona Mullins, OCDE; Lee Solsbery, OIE; Zhao Quiguo, China

Los autores desean expresar su reconocimiento a las siguientes personas por sus contribuciones para preparar el documento: David Jon Dokken, GT II del IPCC (TSU); Sandy MacCracken, GT II del IPCC (TSU); Martha Perdomo, Venezuela; Ken Richards, Estados Unidos; Hiroshi Tsukamoto, Japón; Steve Vogel, Estados Unidos; y Motomu Yukawa, Japón.

RESUMEN TÉCNICO

En este documento técnico se describen y analizan las tecnologías y medidas para limitar y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y para mejorar los sumideros de GEI en virtud de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMCC). El documento se centra en tecnologías y medidas para los países enumerados en el Anexo I de la CMCC, a la vez que señala información apropiada para que la utilicen otros países. Las tecnologías y medidas se examinan a lo largo de tres períodos, privilegiando el corto plazo (hasta 2010) y el medio plazo (2010-2020), pero incluyendo también consideraciones sobre posibilidades y oportunidades a un plazo más largo (por ejemplo, 2050). Para el análisis, los autores se han inspirado en documentación utilizada para preparar el segundo informe de evaluación (SIE) del IPCC y evaluaciones e informes anteriores del IPCC.

El documento técnico comprende el examen de tecnologías y medidas que pueden adoptarse en tres sectores de uso final de la energía (edificios comerciales/residenciales/institucionales, transporte e industria) así como en el sector del suministro de energía y en los sectores agrícola, forestal y de gestión de residuos. En una última sección sobre instrumentos económicos se consideran medidas más amplias que afectan a las economías nacionales. Se analiza una serie de medidas potenciales, que comprenden programas basados en el mercado, acuerdos voluntarios, medidas reglamentarias, investigación, desarrollo y demostración (IDyD), impuestos sobre las emisiones de GEI y permisos/cuotas para las emisiones. Procede señalar que la elección de instrumentos puede tener efectos económicos para otros países.

En el documento se identifican y evalúan diferentes opciones sobre la base de tres criterios. Debido a la dificultad de estimar el potencial económico y del mercado (véase el Recuadro 1) de distintas tecnologías y de la eficacia de diversas medidas para lograr los objetivos de reducción de las emisiones, así como al riesgo de contar dos veces los resultados alcanzados con medidas en que se aprovechan los mismos potenciales técnicos, en el documento no se hace una estimación de las reducciones totales de las emisiones mundiales, ni tampoco se recomienda la adopción de ningún método particular.

Sector de edificios residenciales, comerciales e institucionales

Se prevé que las emisiones globales de dióxido de carbono (CO₂) resultantes de edificios residenciales, comerciales e institucionales crezcan de 1,9 Gt C/año en 1990 a 1,9-2,9 Gt C/año en 2010, 1,9-3,3 Gt C/año en 2020, y 1,9-5,3 Gt C/año en 2050. En tanto que el 75% de las emisiones de 1990 se atribuyen al uso de energía en los países del Anexo I, se espera que sólo algo más de 50% de las emisiones globales relacionadas con los edificios procedan de los países del Anexo I en 2050.

Las tecnologías de uso eficiente de la energía para el equipo de los edificios con períodos de amortización para el consumidor de 5 años o menos tienen la posibilidad económica de reducir las emisiones de carbono resultantes de edificios residenciales

y comerciales en un 20% para 2010, un 25% para 2020 y hasta un 40% para 2050, en relación con la referencia del escenario IS92 en el que el rendimiento energético mejora.

Las mejoras de las partes exteriores de los edificios (reduciendo la transferencia de calor y utilizando la debida orientación del edificio, ventanas que economicen energía y un albedo del edificio adecuado al clima) se dispone del potencial económico para reducir la energía de calefacción y de refrigeración en edificios residenciales con un período de amortización de 5 años o menos en aproximadamente el 25% en 2010, el 30% en 2020 y hasta el 40% en 2050, con relación a las referencias de los escenarios IS92, en que la integridad térmica de los edificios mejora a través de las fuerzas del mercado.

Las reducciones pueden lograrse aplicando las cuatro medidas generales siguientes: i) programas basados en el mercado según las cuales se proporciona a clientes o fabricantes asistencia técnica y/o incentivos; ii) normas obligatorias para el uso eficiente de la energía aplicadas en el lugar de fabricación o en el momento de la construcción; iii) normas voluntarias para el uso eficiente de la energía, y iv) mayor insistencia en programas privados o públicos de IDyD para obtener productos más eficientes. Es preciso adaptar cuidadosamente medidas para afrontar los obstáculos al mercado. Si bien todas las medidas tienen algunos costos administrativos y de transacción, el efecto global para la economía será favorable en la medida en que los ahorros de energía sean rentables.

Las reducciones totales realizables (potencial del mercado), sin incluir las reducciones debidas a normas voluntarias para el uso eficiente de la energía, se estiman en 10-15% en 2010,

Recuadro 1. Potencial técnico, económico y del mercado

Potencial técnico — Cantidad en que es posible reducir las emisiones de GEI o mejorar el rendimiento energético utilizando una tecnología o práctica en todas las aplicaciones en que pueda adoptarse técnicamente, sin consideración de su costo o viabilidad práctica..

Potencial económico — Parte del potencial técnico para la reducción de las emisiones de GEI o mejoras de rendimiento energético que pueden lograrse en forma rentable, sin obstáculos al mercado. Para realizar el potencial económico hacen falta políticas y medidas adicionales que permitan derribar los obstáculos al mercado.

Potencial del mercado — Parte del potencial económico para la reducción de las emisiones de GEI o mejoras de rendimiento energético que puedan lograrse actualmente en las condiciones de mercado existentes, suponiendo que no se adopten nuevas políticas y medidas.

15-20% en 2020 y 20-50% en 2050, con relación a los escenarios IS92. Por tanto, se estima que reducciones totales de las emisiones de carbono globales que pueden conseguirse en el sector de los edificios (sobre la base de los escenarios IS92c, a y e) serán del orden de 0,175-0,45 Gt C/año en 2010, de 0,25-0,70 Gt C/año en 2020 y de 0,35-2,5 Gt C/año en 2050.

Sector del transporte

El uso de la energía en el transporte dio como resultado emisiones de 1,3 Gt C en 1990, en las que los países del Anexo I representaron aproximadamente las tres cuartas partes. Más o menos la mitad de las emisiones globales en 1990 se debieron a vehículos ligeros (VL), la tercera parte a vehículos pesados (VP), y la mayoría de la cantidad restante a las aeronaves. Según una serie de escenarios de crecimiento del tráfico y de reducciones de la intensidad energética, las emisiones de CO₂ aumentan a 1,3-2,1 Gt C para 2010, a 1,4-2,7 Gt C para 2020 y 1,8-5,7 Gt C para 2050. La parte de los países del Anexo I disminuye a 60-70% aproximadamente para 2020, y más después. La parte de camiones y aeronaves aumenta en la mayoría de los escenarios. El sector del transporte es también fuente de otros GEI, incluidos óxido nitroso (N₂O), clorofluorocarbonos (CFC) e hidrofluorocarbonos (HFC). Las emisiones de óxido de nitrógeno (NO_x) de las aeronaves contribuyen a la formación de ozono, que puede tener tanto impacto radiativo como el CO₂ de las aeronaves.

Con reducciones de intensidad energética en los VL que ofrecerían a los usuarios un período de amortización en economías de combustible de 3 a 4 años se pueden disminuir sus emisiones de GEI con relación a los niveles previstos para 2020 en 10-25%. El potencial económico de las reducciones de intensidad energética en los VP y las aeronaves permite reducciones de 10% aproximadamente en las emisiones de GEI si se aplican con relación a los niveles previstos para 2020.

Con controles de las fugas de refrigerante en el acondicionamiento de aire se puede disminuir también técnicamente el forzamiento de los gases de efecto invernadero del ciclo vital debido a los automóviles en un 10% en 2020. Con el desarrollo de convertidores catalíticos que no produzcan N₂O se puede lograr una reducción similar en el forzamiento debido a los automóviles. Técnicamente, es posible fabricar motores de aeronaves que produzcan un 30-40% menos de NO_x que los modelos actuales, con lo que se reduciría también el forzamiento debido al transporte aéreo, aunque tal vez a expensas de la eficiencia de los motores y, por consiguiente, de las emisiones de CO₂.

Si en los VL se utiliza diesel, gas natural y propano en lugar de gasolina se pueden reducir técnicamente las emisiones del ciclo de combustible completo en 10-30%. Cuando se utilizan combustibles alternativos de fuentes renovables también se pueden reducir técnicamente las emisiones de GEI del ciclo de combustible completo en un 80% o más.

Para aplicar esas opciones técnicas serían necesarias nuevas medidas. Mediante normas, acuerdos voluntarios e incentivos

financieros se puede ayudar a introducir mejoras de rendimiento energético que pueden ser rentables para los usuarios de vehículos. También se requerirá IDyD para hallar medios de reducir las emisiones de HFC, N₂O y NO_x de las aeronaves que podrían controlarse luego mediante normas, si bien todavía se desconocen los costos de tales medidas.

Hay varios costos sociales y ambientales asociados al transporte por carretera a nivel local, regional y mundial. Puede recurrirse a instrumentos de mercado como impuestos a los usuarios de la carretera para repercutir muchos de esos costos, especialmente los correspondientes a nivel local y regional. Tales instrumentos pueden contribuir igualmente a mitigar los GEI disminuyendo el tráfico. Los impuestos sobre el combustible son un medio económicamente eficiente de mitigación de GEI, pero puede ser menos eficaz cuando se trata de objetivos locales. Sin embargo, son sencillos desde el punto de vista administrativo y pueden aplicarse a nivel nacional. Aumentando los precios del combustible para repercutir todos los costos sociales y ambientales del transporte en sus usuarios se pueden reducir las emisiones previstas de CO₂ en el transporte por carretera en 10-25% para 2020 en la mayoría de las regiones; las reducciones pueden ser muy superiores en países donde los precios son actualmente muy bajos. Con otros incentivos sobre combustibles se puede lograr una reducción del 5% en las emisiones previstas de los VL en 2020, pero el efecto a más largo plazo puede ser mucho mayor.

Entre los elementos más importantes de una estrategia a largo plazo para la mitigación de GEI en el sector del transporte pueden figurar todos los cambios en la infraestructura urbana y del transporte, para reducir la necesidad de transporte motorizado y desplazar la demanda a medios de transporte que requieran menos energía. Habrá que preparar conjuntos de medidas para introducir esos cambios a escala local, en consulta con los interesados. En algunos casos, con la disminución del tráfico resultante se podrían reducir las emisiones de GEI en 10% o más para 2020, obteniendo al mismo tiempo amplios beneficios sociales y ambientales.

Sector industrial

En los dos últimos decenios, las emisiones de CO₂ de combustibles fósiles del sector industrial de la mayoría de los países del Anexo I han disminuido o han permanecido constantes, en tanto que sus economías han crecido. Las razones son diversas para las economías de los países de la Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos (OCDE) del Anexo I, impulsadas más por los beneficios de eficiencia y un desplazamiento hacia el sector de servicios, y para las economías en transición, que están sufriendo una gran reestructuración y reducción en sus subsectores de la industria pesada. Las emisiones industriales globales (incluidas las relativas a la fabricación, la agricultura, la minería y la silvicultura) fueron de 2,8 Gt C (47% del total), a las que los países del Anexo I contribuyeron con el 75%. Se prevé que las emisiones industriales globales crezcan a 3,2-4,9 Gt C para 2010, a 3,5-6,2 Gt C para 2020, y 3,1-8,8 Gt C para 2050. Se estima que las emisiones de CO₂ industriales de los países del Anexo I permanecerán constantes y disminuirán

luego en un 33%, o aumentarán un 76% para 2050 (véanse los Cuadros A1-A4 del Apéndice A). Sin duda, hay muchas posibilidades de conseguir beneficios en el rendimiento energético de procesos industriales, la eliminación de gases en los procesos y el uso de sistemas coordinados en las empresas que hacen un uso más eficiente de materiales, producción combinada de calor y energía, y calor en cascada, y entre ellas. También existen grandes oportunidades para actividades de cooperación entre países del Anexo I, y entre países del Anexo I y países en desarrollo.

Si bien el establecimiento de normas y la reglamentación siguen un método tradicional para reducir emisiones no deseadas, en razón de la inmensa serie de sectores, compañías y personas afectadas es necesario suplementarlas con mecanismos de mercado, acuerdos voluntarios, políticas fiscales y otros métodos no tradicionales. Políticamente será difícil imponer restricciones sobre muchos GEI, y los gastos administrativos de la aplicación y de las transacciones tienen que ser reducidos. Como muchas compañías se han comprometido a seguir prácticas sostenibles, un primer procedimiento sería elaborar acuerdos de cooperación (SIE II, 20.5; SIE III, Capítulo 11).

Se estima que los países del Anexo I podrán reducir las emisiones de CO₂ del sector industrial en el 25% con respecto a los niveles de 1990, simplemente sustituyendo las instalaciones y procesos existentes por las opciones tecnológicas más eficientes utilizadas en la actualidad (suponiendo una estructura constante en el sector industrial). Si esa sustitución se produjera en el momento de la rotación de capital normal, sería rentable (SIE II, RRP 4.1.1).

Sector del suministro de energía

La energía consumida en 1990 liberó 6 Gt C. Aproximadamente el 72% de esa energía se suministró a usuarios finales, y representó 3,7 Gt C; el 28% restante se utilizó en la conversión y distribución de energía, que liberó 2,3 Gt C. Técnicamente es posible realizar grandes reducciones de emisiones en el sector de suministro de energía coincidiendo con el momento normal de las inversiones para sustituir infraestructura y equipo a medida que se desgasta o queda anticuado (SIE II, RRP 4.1.3). En los próximos 50-100 años, todo el sistema de suministro de energía se sustituirá al menos dos veces. Entre los medios prometedores para reducir las emisiones futuras (sin seguir ningún orden de prioridad) figuran: la conversión más eficiente de combustibles fósiles; la utilización de combustibles fósiles con poco carbono; la descarbonización de gases de escape y combustibles, y almacenamiento de CO₂; la utilización de energía nuclear, y la utilización de fuentes de energía renovables (SIE II, RRP 4.1.3).

La eficiencia de generación de electricidad puede aumentarse de la actual media mundial de 30% aproximadamente a más de 60% entre 2020 y 2050 (SIE II, RRP 4.1.3.1). Ahora, las mejores plantas de carbono y gas natural tienen eficiencias de 45 y 52%, respectivamente (SIE II, 19.2.1). Suponiendo una eficiencia típica de nueva generación de energía a base de carbón (con equipo de depuración que elimina SO_x y NO_x) de 40% en los países del Anexo I, con un aumento del rendimiento de

1% se obtendría una reducción de 2,5% en las emisiones de CO₂ (SIE II, 19.2.1.1). Cambiando a combustibles fósiles con poco carbono (por ejemplo, la sustitución de carbón por gas natural) se pueden lograr reducciones específicas de CO₂ de hasta 50%. Con la descarbonización de gases de escape y combustibles se pueden obtener reducciones de las emisiones de CO₂ más altas: hasta el 85% o más con unos costos típicos de descarbonización de 80 a 150 \$ por tonelada de carbón evitada. Pasando a la energía nuclear y a fuentes de energía renovables se pueden eliminar prácticamente todas las emisiones de CO₂ directas, además de reducir otras emisiones de CO₂ que se producen durante el ciclo de vida de sistemas energéticos (por ejemplo, minería, construcción de plantas, desmantelamiento); los costos de mitigación varían entre costos adicionales insignificantes y centenares de dólares por tonelada de carbón evitada (SIE II, Capítulo 19). También existen métodos para reducir las emisiones de metano (CH₄) procedentes de la minería de carbón en 30-90%, de los escapes y quema de gas natural en más de 50%, y los sistemas de distribución de gas natural hasta 80% (SIE II, 22.2.2). Algunas de esas reducciones pueden ser económicamente viables en numerosas regiones del mundo, y proporcionar toda una serie de beneficios, incluido el uso de CH₄ como fuente de energía (SIE II, 19.2.2.1).

El grado en que puede conseguirse el potencial dependerá de futuras reducciones de costos, del ritmo de la evolución y aplicación de nuevas tecnologías, de la financiación, y de la transferencia de tecnología, así como de medidas para superar diversos obstáculos no técnicos, como impactos adversos para el medio ambiente, aceptabilidad social y otras condiciones regionales, sectoriales y propias de los países.

Históricamente, la intensidad energética de la economía mundial ha mejorado por término medio en un 1% anual, debido en gran parte a las mejoras en el rendimiento de la tecnología que acompañan a la sustitución natural de equipo amortizado (SIE II, B.3.1). Si no se toman medidas, lo normal es que las mejoras no superen esa proporción. Las medidas analizadas se agrupan en cinco categorías (sin orden de prioridad): i) programas basados en el mercado; ii) medidas reglamentarias; iii) acuerdos voluntarios; iv) IDyD, y v) medidas infraestructurales. Ninguna medida bastará por sí sola para elaborar, adoptar y difundir oportunamente opciones de mitigación. Más bien se necesitará una combinación de medidas adaptadas a condiciones nacionales, regionales y locales. Por lo tanto, las medidas apropiadas reflejan las amplias divergencias en las dotaciones institucionales, sociales, económicas, técnicas y de recursos naturales en los distintos países y regiones.

Sector agrícola

La agricultura representa aproximadamente la quinta parte de los efectos previstos de los gases termoactivos antropógenos, que producen alrededor del 50 y el 70% respectivamente de las emisiones antropógenas globales de CH₄ y CO₂; las actividades agrícolas (sin incluir la conversión forestal) representan en torno al 5% de las emisiones antropógenas de CO₂ (SIE II, Figura 23.1). Las estimaciones de la reducción global potencial en el

forzamiento radiativo en todo el sector agrícola varían entre equivalentes de 1,1 y 3,2 Gt C al año. De las reducciones globales totales, aproximadamente el 32% puede deberse a las reducciones de las emisiones de CO₂, el 42% a las compensaciones de carbono mediante la producción de biocombustibles en la tierra cultivada actualmente, el 16% a la reducción de las emisiones de CH₄, y el 10% a la reducción de las emisiones N₂O.

Las reducciones de las emisiones por los países del Anexo I pueden hacer una importante contribución al total global. De la mitigación potencial de total CO₂, los países del Anexo I pueden contribuir al 40% de la reducción de las emisiones de CO₂, y al 32% de la compensación de carbono mediante la producción de biocombustible en tierras agrícolas. De la reducción total global de las emisiones de CH₄, los países del Anexo I pueden contribuir al 5% de la reducción atribuida a mejores tecnologías para la producción de arroz, y al 21% de las reducciones atribuidas a la mejor gestión de animales rumiantes. Esos países pueden contribuir también con el 30% aproximadamente de las reducciones de las emisiones N₂O atribuidas al uso menor y más eficaz de abono nitrogenado, y al 21% de las reducciones derivadas de la mejor utilización de estiércol. Ya se están adoptando, por razones distintas de la preocupación por el cambio climático, algunas tecnologías como la agricultura sin labranza y la aplicación y el momento estratégicos de fertilizantes. Mediante opciones para reducir las emisiones, como mejor aprovechamiento agrícola y mayor eficiencia en el uso de abonos nitrogenados, se mantendrá o aumentará la producción agrícola con efectos positivos para el medio ambiente.

Sector forestal

En la actualidad se estima que los bosques en latitudes altas y medias son un sumidero neto de carbono del orden de $0,7 \pm 0,2$ Gt C/año, y que los bosques en latitudes bajas son una fuente neta de carbono de $1,6 \pm 0,4$ Gt C/año, sobre todo a causa de la tala y de la degradación de los bosques (SIE II, 24.2.2). Estos sumideros y estas fuentes pueden compararse con la liberación de carbono de la quema de combustibles fósiles, que se estimaba en 6 Gt C en 1990.

La zona de tierra potencial disponible en los bosques para la conservación y el secuestro de carbono se estima en 700 Mha. El carbono total que puede secuestrarse y conservarse globalmente en 2050 en esta tierra varía de 60 a 87 Gt C. En las regiones tropicales se puede conservar y secuestrar la mayor cantidad, y con mucho, de carbono, (80%), seguida de la zona templada (17%) y de la zona boreal (3%).

La disminución de la deforestación y la ayuda a la regeneración, la repoblación forestal y la agrosilvicultura constituyen las principales medidas de mitigación para la conservación y el secuestro de carbono. Entre ellas, la disminución de la deforestación y la ayuda a la regeneración en las regiones tropicales (unas 22-50 Gt C) y la repoblación forestal y la agrosilvicultura en las regiones tropicales (23 Gt C) y en las zonas templadas (13 Gt C) representan el mayor potencial técnico para la conservación y el secuestro de carbono. En la medida en que con los planes

de forestación se obtengan productos de madera, que puedan sustituir al material basado en el combustible fósil y a la energía, su beneficio de carbono puede ser hasta cuatro veces mayor que el del secuestro. Si se excluyen los costos de oportunidad de la tierra y los costos indirectos de la forestación, los costos de la conservación y el secuestro de carbono serían por término medio de 3,7 a 4,6 \$ por tonelada de carbono, pero pueden cambiar mucho según los proyectos.

Los gobiernos de algunos países en desarrollo, como Brasil y la India, han decretado medidas para detener la deforestación. Para que tengan éxito a largo plazo, su aplicación ha de ir acompañada de beneficios económicos y de otro tipo, para los tala-dores, iguales o superiores a su remuneración actual. En muchos países industrializados y en desarrollo hay programas nacionales de plantación de árboles y reforestación que se aplican con un grado de éxito variable. También en este caso, la provisión adecuada de beneficios a los habitantes de los bosques y los agricultores habrá de ser importante para garantizar su sostenibilidad. El sector privado ha desempeñado una considerable función en la plantación de árboles para usos exclusivos, como la producción de papel. Su ámbito se extiende en los países en desarrollo, mediante la movilización de recursos para la plantación con diversos usos, como las industrias de la construcción y del mueble.

Los residuos de madera se utilizan regularmente para generar vapor y/o electricidad en la mayoría de las fábricas de papel y las plantaciones de caucho, y en casos concretos para la generación de electricidad de los servicios públicos. Si se quiere que la madera de plantación sea un combustible importante en la generación de electricidad habrá que producir más biomasa, y lograr un rendimiento térmico equiparable al de las de las centrales de energía tradicionales. Los gobiernos pueden ayudar eliminando restricciones al suministro de madera y a la adquisición de electricidad.

En los proyectos en curso ejecutados conjuntamente se abordan los tres tipos de opciones de mitigación mencionados. Las lecciones extraídas de esos proyectos servirán de importantes precursores para futuros proyectos de mitigación. Sin embargo, si no se emulan y repiten a escala nacional, las incidencias de esos proyectos por sí solos en la conservación y el secuestro de carbono probablemente sea escasa. Para reducir considerablemente las emisiones globales de carbono, los gobiernos habrán de establecer medidas que proporcionen beneficios económicos y de otra índole a nivel local y nacional, a la vez que permitan conservar y secuestrar carbono.

Eliminación de desechos sólidos y aguas residuales

Los medios para eliminar desechos sólidos (vertederos y vertederos abiertos) para el tratamiento de aguas residuales emitieron en 1990 entre 50 y 80 Mt C de CH₄ (290-460 Mt C). Si bien hay grandes incertidumbres en las estimaciones de las emisiones por diversas razones, se prevé que los niveles globales de las emisiones crecerán considerablemente en el futuro.

Existen opciones técnicas para reducir las emisiones de CH₄ y, en muchos casos, pueden aplicarse en forma rentable. Las emisiones pueden reducirse entre 30 y 50% merced a la disminución de fuentes de desechos sólidos (reciclado de papel, compostación e incineración) y la recuperación de CH₄ de vertederos y aguas residuales (SIE II, 22.4.4.2). El CH₄ recuperado puede utilizarse como fuente de energía, con lo que se reduce el costo de la eliminación de desechos. En algunos casos, el CH₄ procedente de vertederos y aguas residuales puede competir en costo con otras alternativas de energía (SIE II, 22.4.4.2). Si se utiliza la gama de estimaciones de emisiones de los escenarios IS92, esto supone reducciones de equivalente de carbono de unas 55-140 Mt en 2010; 85-170 Mt en 2020; y 110-230 Mt en 2050.

Para controlar las emisiones de CH₄ es indispensable un compromiso previo de control de desechos, y los obstáculos para alcanzar tal objetivo pueden paliarse mediante cuatro medidas generales: i) creación de instituciones y asistencia técnica; ii) acuerdos voluntarios; iii) medidas reglamentarias; y iv) programas basados en el mercado. Procede señalar, por revestir particular importancia, que muchas veces las reducciones resultantes de CH₄ se considerarán como un beneficio secundario de esas medidas, que persiguen con frecuencia otros beneficios ambientales y de salud pública.

Instrumentos económicos

Se dispone de diversos instrumentos económicos para influir en las emisiones de más de un sector. Tanto a nivel nacional como internacional, probablemente los instrumentos económicos sean más rentables que otros medios para limitar las emisiones de GEI. Esos instrumentos comprenden subvenciones, impuestos y permisos/cuotas negociables, así como la aplicación conjunta. Los efectos variarán según las circunstancias regionales y nacionales, como políticas existentes, instituciones, infraestructura, experiencia y situación política.

Los instrumentos a nivel nacional comprenden: i) cambios en la estructura actual de las subvenciones, bien para reducir las correspondientes a las actividades en que se emiten GEI u ofrecerlas para actividades que limiten las emisiones de GEI o mejoren los sumideros; ii) impuestos nacionales sobre las emisiones de GEI; y iii) permisos negociables.

Los instrumentos económicos a nivel internacional comprenden: i) impuestos internacionales o impuestos nacionales armonizados; ii) cuotas negociables; y iii) aplicación conjunta.

Para aplicar instrumentos económicos a nivel nacional o internacional se requieren métodos en que se aborden las preocupaciones de equidad, competitividad internacional, "beneficio automático" (es decir, que las partes compartan los beneficios de la reducción sin soportar parte de los costos), y "fuga" (es decir, acciones de reducción en países participantes que causan un aumento de las emisiones en otros países).

Con algunas excepciones, los impuestos y los permisos negociables imponen costos para la industria y los consumidores. Las fuentes habrán de hacer desembolsos económicos, bien a través de los gastos para controlar las emisiones o mediante pagos en metálico para adquirir permisos o pagar impuestos.

Los permisos son más eficaces que el impuesto para lograr determinado objetivo de emisión, pero el impuesto proporciona mayor certidumbre que los permisos en cuanto a los costos de control. Para que un sistema de permisos negociables funcione debidamente, han de existir condiciones de competencia en los mercados de permisos (y productos). Un mercado de permisos competitivo puede permitir la creación de contratos futuros, con lo que disminuirá la incertidumbre respecto a los precios de los permisos futuros.

Un sistema de impuestos nacionales armonizados sobre las emisiones de GEI ha de ir acompañado de un acuerdo sobre transferencias financieras internacionales compensatorias. Para que ese sistema sea eficaz, no puede permitirse que los participantes apliquen políticas que aumenten indirectamente las emisiones de GEI.

Un sistema de cuotas negociables permite que cada participante decida la política nacional que seguirá. En la asignación inicial de cuotas entre países se abordan consideraciones de distribución, pero las consecuencias exactas de la distribución no pueden conocerse de antemano, puesto que el precio de la cuota sólo se conocerá después de comenzar la negociación, por lo que tal vez haya que prever una protección contra los movimientos de precios desfavorables.

En la aplicación de instrumentos económicos para limitar las emisiones de GEI a nivel internacional, la equidad entre países está determinada por las asignaciones de cuotas en el caso de sistemas de cuotas negociables, por el acuerdo de distribución de ingresos negociado en el caso de un impuesto internacional, o por los pagos de transferencia negociados como parte de impuestos nacionales armonizados sobre las emisiones de GEI.

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Finalidad y contexto

La finalidad de este documento técnico es ofrecer una idea y un análisis de las tecnologías y medidas para limitar y reducir las emisiones de GEI y mejorar los sumideros de GEI según la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. El contexto del documento lo constituye el “Mandato de Berlín”, aprobado en la primera conferencia de las Partes (CP) de la CMCC (Berlín, marzo-abril de 1995). En ese mandato se establece un proceso que persigue la elaboración de políticas y medidas, y se determinan la limitación cuantificada de las emisiones y los objetivos de reducción.

1.2 Alcance y organización¹

El documento técnico ofrece un análisis sectorial de tecnologías y prácticas para reducir el aumento de las emisiones de GEI y de medidas que pueden estimular y acelerar el uso de esas tecnologías y prácticas, considerando por separado los instrumentos generales de política económica. El documento se centra en tecnologías y medidas para los países enumerados en el Anexo I de la CMCC, pero también contiene información apropiada para uso en otros países. El análisis de esas tecnologías y medidas se hace teniendo en cuenta una serie de criterios, refrendados por la duodécima reunión del IPCC (Ciudad de México, 11-13 de septiembre de 1996).

Las tecnologías y medidas se examinan con respecto a tres períodos, particularmente a corto plazo (hasta 2010) y medio plazo (2010-2020), pero comprenden asimismo la consideración de posibilidades y oportunidades a más largo plazo (por ejemplo, 2050). Muchos de los datos contenidos en el SIE se resumieron como valores globales; en el presente informe se proporcionan también, en la medida de lo posible, datos para los países del Anexo I, como grupo o clasificados por países de la OCDE y países con economías en transición. La totalidad de la información y de las conclusiones contenidas en este informe es coherente con el SIE y con informes del IPCC publicados anteriormente.

El documento técnico comienza por considerar tres sectores de uso final de la energía: edificios comerciales/residenciales/institucionales, transporte e industria. Las consideraciones van seguidas de una sección sobre el sector de suministro y transformación de energía, que produce y transforma energía primaria para suministrar energía secundaria a sectores de uso final de la energía². Luego se trata de las tecnologías y medidas que pueden adoptarse en la agricultura, la silvicultura y los sectores de control de desechos. Las medidas que influirán en las emisiones, sobre todo en los distintos sectores (por ejemplo, impuestos sobre el combustible en el sector del transporte) se abarcan en las consideraciones por sectores enumerados anteriormente; en una última sección sobre instrumentos económicos se tratan las medidas más amplias que afectan a la economía nacional (por ejemplo, impuestos sobre la energía o las emisiones de carbono).

En el documento se señalan y evalúan diferentes opciones sobre la base de tres criterios (véase el Recuadro 2). Debido a la dificultad de estimar el potencial económico y de mercado de las distintas tecnologías y la eficacia de diversas medidas para alcanzar los objetivos de reducción de las emisiones, así como al riesgo de doble cómputo de los obtenidos alcanzados con medidas en que se aprovechan los mismos potenciales técnicos, en el documento no se estima la reducción total de las emisiones globales. Tampoco se recomienda la adopción de métodos particulares. Cada Parte en la Convención decidirá, sobre la base de sus necesidades, obligaciones y prioridades nacionales, lo que le conviene en sus propias circunstancias nacionales.

1.3 Fuentes de información

El documento técnico se ha redactado en forma coherente con los procedimientos para la preparación de los documentos técnicos del IPCC convenidos en la Undécima reunión del IPCC (Roma, 11-15 de diciembre de 1995) interpretados luego en la duodécima reunión del IPCC. Los gobiernos contribuyentes y participantes del IPCC reconocen que es necesario simplificar el proceso de examen para poder terminar los documentos técnicos en un plazo que responda a las necesidades de las Partes en la CMCC. Por consiguiente, el material considerado apropiado para utilizar en este documento técnico se ha limitado a la información derivada de informes del IPCC y a partes pertinentes de referencias citadas en esos informes, así como a modelos y escenarios utilizados para proporcionar información en los informes del IPCC. Por lo tanto, de conformidad con esos requisitos, no se incluye información ni estudios no referenciados o citados en alguno de los informes del IPCC. En las publicaciones no siempre se dispone de información importante sobre reducciones potenciales de economías de energía u obtenidas aplicando medidas particulares; a falta de esa información, los autores del presente informe han presentado en ciertos casos sus propias estimaciones y juicio profesional en la evaluación de los resultados de tales medidas.

¹ Este trabajo se ha inspirado en varios documentos de la CMCC preparados por el Grupo *ad hoc* sobre el Mandato de Berlín y (GHAMB), entre ellos FCCC/AGM/1995/4 y FCCC/AGBM/1996/2.

² La energía primaria es la energía química contenida en combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas natural) o biomasa, la energía potencial de un embalse de agua, la energía electromagnética de la radiación solar, y la energía liberada por reactores nucleares. La mayor parte de la energía primaria se transforma en electricidad o combustibles como gasolina, carborreactor, petróleo para calderas o carbón vegetal, que se denominan energía secundaria. Los sectores de uso final del sistema energético proporcionan servicios de energía como cocción, iluminación, aclimatación de interiores cómoda, frigoconservación, transporte y bienes de consumo que utilizan formas de energía primaria y secundaria, según los casos.

1.4 Medidas consideradas

A falta de medidas para estimular la utilización, no es probable que se apliquen tecnologías y prácticas con el fin de mitigar las emisiones de GEI por encima de las tasas normales básicas de mejora de la tecnología y sustitución de equipo amortizado. Como las circunstancias difieren según los países y las regiones, y diversos obstáculos impiden actualmente el desarrollo y la implantación de esas tecnologías y prácticas, ninguna medida bastará por sí sola para la elaboración, adopción y difusión oportunas de opciones de mitigación. Se necesitará más bien una combinación de medidas adaptada a las condiciones nacionales, regionales y locales. Esas medidas han de reflejar las amplias diferencias en las dotaciones institucionales, sociales, culturales económicas, técnicas y de recursos naturales en los diversos países y regiones, y la combinación óptima variará según los países. Con las medidas combinadas se debe tratar de paliar los obstáculos a la comercialización, difusión y transferencia de tecnologías para mitigar los GEI; de movilizar recursos financieros; de apoyar la creación de capacidad en países en desarrollo y en países con economías en transición y de inducir a cambios de comportamiento. Pueden introducirse varias medidas pertinentes por razones distintas de la mitigación del clima, como lograr mayor eficiencia o abordar cuestiones económicas o ambientales locales y regionales.

En este documento se analizan diversas medidas potenciales, como programas basados en el mercado (impuestos sobre el carbono o la energía, fijación de los precios basada en la totalidad de los costos, uso o reducción gradual de subvenciones, permisos y cuotas negociables sobre las emisiones); acuerdos voluntarios (uso de la energía y normas sobre las emisiones de carbono, compras del sector público³, programas para fomentar productos en que se utilice eficientemente la energía); medidas reglamentarias (equipo obligatorio o normas sobre construcción, prohibiciones de productos y prácticas, permisos y cuotas de emisiones no negociables); RDyD. Algunas de estas medidas pueden aplicarse a nivel nacional e internacional.

1.4.1 Provisión de información y creación de capacidad

La provisión de información y la creación de capacidad se consideran elementos necesarios de muchas de las medidas y políticas tratadas en el documento, y en general no se examinan como tipos de medidas separados.

Para difundir con éxito a una amplia gama de usuarios las técnicas y tecnologías de reducción de GEI tiene que haber un esfuerzo concertado con miras a la difusión de información sobre sus aspectos técnicos, de gestión y económicos. Además de la disponibilidad de la información, se requieren planes de formación para poder aplicar programas satisfactorios. La transferencia internacional de conocimientos a países que no figuran en el Anexo I es relativamente reducida. Un mecanismo eficaz podría ser la inclusión de información y formación en los programas de préstamos y asistencia exterior de los donantes de ayuda y las instituciones de crédito. Organismos internacionales como el Instituto de las Naciones Unidas para Formación

Profesional e Investigaciones (UNITAR) podrían asumir importantes responsabilidades en materia de información y formación para la transferencia de tecnología relacionada con GEI. Organizaciones comerciales internacionales y nacionales también podrían desempeñar una función eficaz proporcionando información y capacitación.

Las medidas de información y educación comprenden actividades para proporcionar información a quienes toman las decisiones, con la intención de modificar comportamientos. Pueden ayudar a superar conocimientos incompletos sobre características económicas, ambientales y de otro tipo de tecnologías promotoras de las que ya se dispone o que se están desarrollando. Las medidas de información han ayudado a la elaboración y comercialización de nuevas tecnologías sobre la gestión de la demanda y el suministro en energía a mercados nacionales o regionales. Además, la información y la educación pueden ser útiles en la configuración de prácticas socioeconómicas así como en lo relativo a las actitudes de comportamiento en cuanto a la forma en que se proporcionan y solicitan servicios de energía. Es difícil cuantificar el grado en que los programas de información y educación pueden originar cambios en las emisiones de GEI.

La formación y la creación de capacidad pueden ser requisitos previos para la adopción de decisiones en relación con el cambio climático y la formulación de políticas y medidas apropiadas para abordar esta cuestión. La formación y la creación de capacidad pueden fomentar la difusión oportuna de información a todos los niveles de la sociedad, facilitando la aceptación de nuevos reglamentos o acuerdos voluntarios. La creación de capacidad puede ayudar asimismo a catalizar y acelerar el desarrollo y la utilización de tecnologías sostenibles sobre el suministro y uso de la energía.

1.4.2 Coordinación internacional e instituciones

Por lo que respecta a las cuestiones de equidad y a las consideraciones de competitividad económica internacional, tal vez haya que incluir ciertas medidas en acuerdos regionales o internacionales, en tanto que otras políticas pueden aplicarse unilateralmente. Como resultado, una cuestión esencial es el grado en que determinada medida puede requerir una "acción común" o beneficiarse de ella y la forma que puede revestir tal acción. El nivel de acción común puede variar desde un grupo de países que adoptan medidas comunes, coordinan la aplicación de medidas similares o colaboran para alcanzar objetivos comunes, con flexibilidad en las tecnologías, medidas y políticas utilizadas. Otras formas de acción común pueden comprender la elaboración de una serie común de acciones útiles, entre las que cada país elegiría las medidas más apropiadas a su situación o elaboraría protocolos de coordinación para controlar y contabilizar en forma coherente las reducciones de las emisiones o para realizar y verificar iniciativas internacionales sobre emisiones negociables.

³ En razón de sus efectos potenciales para la creación de mercados, las compras del sector público se consideran en algunas secciones del documento como un programa basado en el mercado.

Recuadro 2. Criterios para la evaluación de tecnologías y medidas

1. GEI y otras consideraciones ambientales
 - Posibilidades de reducción de GEI
 - Toneladas de equivalente de carbono⁴
 - Porcentaje de referencia y gama de IS92a (IS82c-e)
 - Otras consideraciones ambientales
 - Variación porcentual en las emisiones de otros gases/partículas;
 - Biodiversidad, conservación del suelo, gestión de cuencas hidrológicas, calidad del aire en locales cerrados, etc.
2. Consideraciones económicas y sociales
 - Rentabilidad
 - Costos medios y marginales
 - Consideraciones a nivel de los proyectos
 - Costos de capital y de explotación, costos de oportunidad, costos incrementales
 - Consideraciones macroeconómicas
 - PIB, creación o pérdida de empleos, efectos sobre la inflación o los tipos de interés, consecuencias para el desarrollo a largo plazo, divisas extranjeras y comercio, otros beneficios o inconvenientes económicos.
 - Consideraciones de equidad
 - Impactos diferenciales para los países, grupos de ingresos, o generaciones futuras
3. Consideraciones administrativas, institucionales y políticas
 - Gastos administrativos
 - Capacidades institucionales para realizar la recopilación de información, la verificación, la aplicación forzosa, la autorización, etc, necesarias.
 - Consideraciones políticas
 - Capacidad para superar los procesos políticos y burocráticos y sostener el apoyo político
 - Coherencia con otras políticas públicas
 - Posibilidades de réplica
 - Adaptabilidad a diferentes ámbitos geográficos y socio-económico-culturales

En este documento no se evalúan los niveles ni los tipos de coordinación internacional, sino que los elementos del análisis ilustran más bien las ventajas y los inconvenientes posibles de acciones llevadas a cabo en los distintos países e internacionalmente.

1.5 Criterios para el análisis

Con el fin de ofrecer una estructura y una base para la comparación de acciones, los autores han desarrollado un marco de criterios para analizar las tecnologías y las medidas (véase el Recuadro 2), en los que se basa la consideración de algunos de los beneficios e inconvenientes importantes de un gran número de medidas.

Los autores centran sus evaluaciones en los principales criterios (es decir, las reducciones de GEI y otros resultados ambientales; efectos económicos y sociales, y cuestiones administrativas, institucionales y políticas), e incorporan elementos de las tres categorías en las consideraciones sobre cada tecnología y cada medida (véanse los cuadros de las respectivas secciones). Debido a la limitada extensión y al alcance general del documento, no es posible evaluar cada opción utilizando cada uno de los criterios detallados enumerados. En particular, es difícil juzgar con precisión la eficacia de diversos instrumentos

para alcanzar objetivos de reducción de las emisiones, los costos económicos a nivel del proyecto y a nivel macroeconómico, y factores como otros tipos de efectos ambientales resultantes de la aplicación de diversas opciones. En algunos casos, los autores no han podido cuantificar la rentabilidad ni evaluar totalmente otras consideraciones de costos señaladas en los criterios para la evaluación. Esa evaluación de los costos no puede ser completa, porque los costos dependen de la opción técnica específica promovida y de los medios de aplicarla; los países del Anexo I no han documentado debidamente la evaluación de los costos de las medidas, y tampoco existe de momento en las publicaciones técnicas. La necesidad de considerar cuestiones de aplicación que pueden influir en el resultado, y la probabilidad de que el rendimiento de las medidas varíe cuando se combinen en diferentes conjuntos, complica todavía más la apreciación del rendimiento de cualquier tecnología o medida, de la amplia gama citada.

⁴ Los equivalentes de carbono de GEI distintos de CO₂ se calculan a partir de los equivalentes de CO₂, utilizando potenciales de calentamiento global (PCG) de 100 años: CH₄ = 21, N₂O = 310 SIE I, 2.5. Cuadro 2.9).

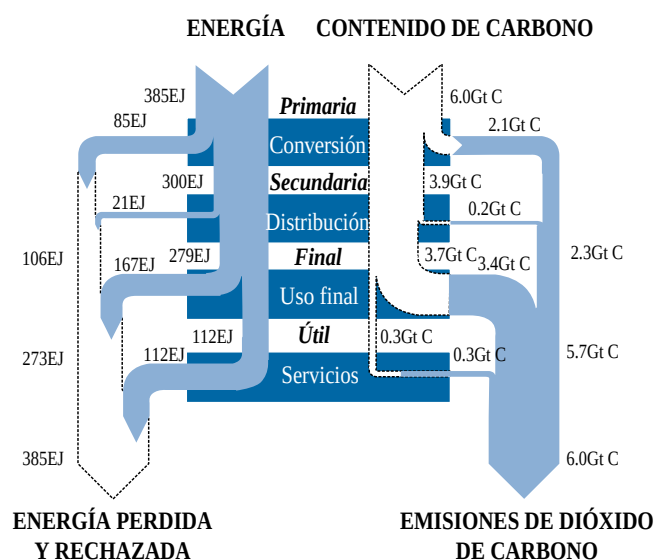


Figura 1: Principales flujos de energía y de carbono a través del sistema global de energía en 1990, EJ y Gt C (miles de millones de toneladas) de carbono elemental. Los flujos de carbono no comprenden la biomasa. (SIE II, B.2.1, Figura B-2)

Los criterios utilizados por los gobiernos para evaluar las tecnologías y las medidas – y la prioridad concedida a cada uno de ellos – pueden diferir de los enumerados aquí. La finalidad de la información proporcionada sobre el resultado de las tecnologías y medidas descritas en el SIE con respecto a esos criterios es facilitar la elección de opciones por los gobiernos.

1.6 Proyecciones de referencia del uso de la energía y de las emisiones de dióxido de carbono

Históricamente, el consumo de energía global ha crecido a una tasa anual media del orden de 2% durante casi dos siglos, si bien las tasas de crecimiento varían considerablemente en el tiempo y entre las regiones. El GEI predominante es el CO₂, que representa más de la mitad del incremento del forzamiento radiativo procedente de fuentes de GEI antropógenas. La mayoría del CO₂ se debe al uso de combustibles fósiles, que representa a su vez aproximadamente el 75% de la utilización global total de energía.

La energía consumida en 1990 liberó 6 Gt C como CO₂. Aproximadamente el 72% de esa energía se suministró a usuarios finales, y representó 3,7 GT C de emisiones de CO₂; el 28% restante se utilizó en conversión y distribución de energía, lo

que liberó 2,3 GT C como CO₂ (véase la Figura 1). En 1990, los tres sectores de utilización final de la energía que produjeron las mayores liberaciones de CO₂ del uso directo de combustibles fueron la industria (45% de las liberaciones totales de CO₂), el transporte (21%), y los edificios residenciales/comerciales/institucionales (29%). El uso de energía y las liberaciones de emisiones de CO₂ en el sector del transporte han crecido más rápidamente en los dos últimos decenios.

Como se muestra en los cuadros A3 y A4 del Apéndice A, los países del Anexo I son los principales usuarios de energía y emisores de CO₂ de combustibles fósiles, aunque su parte en las emisiones globales de carbono de combustibles fósiles disminuye. Los países que no figuran en el Anexo I representan una parte menor de CO₂ que los países del Anexo I, pero las proyecciones indican que la parte de esos primeros países aumentará considerablemente en todos los escenarios para 2050.

La mitigación potencial de muchas de las tecnologías y medidas se estima utilizando una gama de proyecciones de referencia de los escenarios IS92 “a”, “c”, y “e” del IPCC para 2010, 2020 y 2050 (véanse los Cuadros A1 a A4 del Apéndice A). Los escenarios IS92 (IPCC 1992, 1994) dan una idea actual del uso global de la energía y de las emisiones de GEI, así como una serie de proyecciones futuras sin políticas de mitigación, sobre la base de hipótesis y de la información sobre tendencias de que se disponía a finales de 1991. Al proporcionar referencias comunes y coherentes que los autores puedan utilizar para comparar reducciones porcentuales en el uso de la energía y las emisiones conexas de GEI, los escenarios permiten hacer estimaciones aproximadas de las contribuciones potenciales a la reducción de las emisiones merced a las diferentes tecnologías y medidas. La rápida evolución de las tendencias económicas nacionales a comienzos del decenio de 1990 en varios países del Anexo I con economías en transición no se tuvo en cuenta en esos escenarios, por lo que tampoco se ha utilizado en los elementos cuantitativos de los análisis.

Según los escenarios IS92, se prevé que las necesidades globales de energía seguirán creciendo, al menos durante la primera mitad del siglo próximo. Sin intervención política, las emisiones de CO₂ aumentarán, aunque ese aumento será más lento que el crecimiento previsto del consumo de la energía, a causa de la tasa “normal” supuesta de descarbonización del suministro de energía. Ahora bien, la tasa de descarbonización global de energía no compensará totalmente el crecimiento medio anual de 2% de las necesidades mundiales de energía.

2. SECTOR DE EDIFICIOS RESIDENCIALES, COMERCIALES E INSTITUCIONALES⁵

2.1 Introducción

En 1990, el sector de edificios residenciales, comerciales e institucionales utilizaba aproximadamente la tercera parte de la energía global y producía las emisiones de carbono asociadas, tanto en los países del Anexo I como mundialmente. Ese año, los edificios en los países del Anexo I utilizaron 86 EJ de energía primaria y emitieron 1,4 Gt C, lo que representaba aproximadamente el 75% del uso de la energía global en los edificios (112 EJ, con emisiones asociadas de 1,9 Gt C)⁶. Sin embargo, está previsto que descienda la parte del uso de energía primaria y de las emisiones asociadas atribuibles a los países del Anexo I; en el escenario IS92a se proyecta que las emisiones globales relacionadas con los edificios en los países del Anexo I serán del orden de 70% en 2020 y de poco más de 50% en 2050.

Con un mayor uso de tecnologías rentables disponibles para aumentar el rendimiento energético en los edificios se pueden conseguir fuertes reducciones en las emisiones de CO₂ y otros GEI resultantes de la producción, distribución y uso de combustibles fósiles y de la electricidad necesarios para las actividades en que se utiliza energía en edificios residenciales, comerciales e institucionales. El sector de los edificios se caracteriza por una diversa serie de usos finales de energía y por los diversos tamaños y tipos de armazones de edificios que se construyen en todo tipo de regímenes climáticos. Para reducir el uso de la energía en los edificios se han elaborado y aplicado numerosas técnicas y medidas, especialmente en los dos últimos decenios en los países del Anexo I.

En el Cuadro 1 se señalan medidas y opciones técnicas para mitigar las emisiones de GEI en el sector de los edificios, y se hace una breve descripción de los beneficios para el clima y el medio ambiente, así como de los efectos económicos y sociales (incluidos los costos asociados a la aplicación de las medidas), y las cuestiones administrativas, institucionales y políticas relacionadas con cada medida. En los Cuadros 2 y 3 se hacen estimaciones de las reducciones de las emisiones globales, por una parte, y en los países del Anexo I por otra parte, respectivamente asociadas a tecnologías y medidas de uso eficiente de la energía⁷. Las estimaciones de las reducciones mediante tecnologías de uso eficiente de la energía se basan en estudios descritos en el SIE, utilizando una opinión pericial para hacer una extrapolación de la situación global, y estimar reducciones en 2020 y en 2050, porque en la mayoría de los estudios del SIE sólo se estiman las economías de energía para 2010. Las estimaciones de las reducciones de tecnologías de uso eficiente de la energía obtenidas aplicando medidas se basan en una opinión pericial sobre la eficacia de la política. Estas dos categorías de reducciones “reducciones potenciales derivadas de tecnologías de uso eficiente de la energía” y “reducciones potenciales derivadas de tecnologías de uso eficiente de energía aplicando medidas” no son aditivas, sino que la segunda categoría representa una estimación de la porción de la primera que puede obtenerse con las medidas enumeradas.

2.2 Tecnologías para reducir las emisiones de GEI en el sector de edificios residenciales, comerciales e institucionales

Un medio apropiado para reducir las emisiones de GEI en el sector de los edificios comprende la implantación más rápida de tecnologías destinadas a reducir el uso de la energía en el equipo (electrodomésticos, sistemas de calefacción y refrigeración, alumbrado y todos los aparatos y dispositivos enchufables, incluido el equipo de oficina) y a reducir las pérdidas de energía de calefacción y refrigeración mediante mejoras en la integridad térmica de los edificios (SIE II, 22.4.1, 22.4.2). Entre otros métodos eficaces para reducir las emisiones figuran el diseño urbano y la planificación del uso del terreno, que facilitan la adopción de normas para utilizar menos energía y reducen las islas térmicas urbanas (SIE II, 22.4.3); el cambio de combustible (SIE II, 22.4.1.1, Cuadro 22-1); la mejora de la eficiencia de los sistemas de calefacción y refrigeración urbanos (SIE II, 22.4.1.1.2, 22.4.2.1.2); el empleo de tecnologías de construcción más sostenibles (SIE II, 22.4.1.1); la instalación y el funcionamiento correctos y el tamaño adecuado del equipo, y el uso de sistemas de gestión de energía en los edificios (SIE II, 22.4.2.1.2). El mejoramiento de la quema de biocombustibles sólidos o la sustitución por un combustible líquido o gaseoso constituyen también medios importantes para reducir emisiones de GEI distintas de CO₂. Se estima (con considerable incertidumbre) que el uso de biomasa origina emisiones de 100 Mt C/año de equivalente de CO₂, sobre todo de productos de combustión incompleta con un potencial de calentamiento de gases de efecto invernadero (SIE II, Resumen Ejecutivo).

Las posibilidades de mejorar la rentabilidad en la eficiencia de la energía en el sector de los edificios son grandes en todas las regiones y para todos los usos finales importantes. El aumento previsto de la demanda de energía es en general considerablemente mayor en los países que no forman parte del Anexo I, debido a un crecimiento demográfico más importante y a mayores incrementos previstos en los servicios energéticos *per capita* (SIE II, 22.3.2.2). Si bien las pautas de desarrollo varían notablemente entre países y regiones, las tendencias generales en los países del Anexo I con economías en transición y en otros países que no figuran en el Anexo I comprenden una creciente urbanización (SIE II, 22.3.2.2), un aumento de la zona de

⁵ Esta sección se basa en SIE II, Capítulo 22, *Mitigation Options for Human Settlements* (autores principales: M. Levine, H. Akbari, J. Busch, G. Dutt, K. Hogan, P. Komor, S. Meyers, H. Tsuchiya, G. Henderson, L. Price, K. Smith y Lang Siwei).

⁶ Los valores del uso de la energía y de las emisiones globales se basan en los escenarios IS92.

⁷ En los Cuadros 2 y 3 figuran sólo las emisiones de carbono resultantes del uso de combustibles vendidos en el comercio. No comprenden las grandes cantidades de combustibles de biomasa utilizados en países en desarrollo, para cocinar. Utilizando combustibles renovables y sostenibles como el biogas o el alcohol en países en desarrollo en lugar de combustibles de biomasa para cocinar se pueden reducir esas emisiones (SAR II, 22.4.1.4).

Cuadro 1: Ejemplos seleccionados de medidas y opciones técnicas para mitigar las emisiones de GEI en el sector de los edificios

Opciones técnicas	Medidas	Efectos climáticos y otros efectos ambientales ^a	Efectos económicos y sociales	Consideraciones administrativas, institucionales y políticas
Equipo de edificios Calefacción – Horno de condensación – Termobomba eléctrica con el aire como fuente de calor – Termobomba con el suelo como fuente de calor Enfriamiento – Acondicionadores de aire eficientes Calentamiento de agua – Calentadores eficientes – Calentador de termobomba con el aire como fuente de calor – Calentador de termobomba con salida de aire Refrigeración – Refrigeradores eficientes Otros electrodomésticos – Lavadora de eje horizontal – Lavadora de rotación acelerada – Secadora de termobomba Cocción – Estufas de biomasa Alumbrado – Lámparas fluorescentes compactas – Lámparas IR halógenas – Lámparas fluorescentes eficientes – Reguladores electromagnéticos – Superficies reflectivas especulares – Sustitución de lámparas de queroseno – Sistemas de control de alumbrado Equipo de oficina – Ordenadores eficientes – Modo de poca potencia para el equipo Motores – Mecanismos de velocidad regulable – Motores eficientes Gestión de energía – Sistemas de gestión de energía en los edificios Sistemas avanzados de gestión de energía	Programas basados en el mercado – Acuerdos voluntarios – Atractivo del mercado o agregación del mercado – Programas de incentivo al desarrollo – Programas de gestión de la demanda de servicios públicos – Compañías de servicios de energía	Beneficios para el clima – Reducciones de 2,5-4% de emisiones debido a edificios para 2010 – Reducciones de 3-5% de emisiones debido a edificios para 2020 – Reducciones de 5-13% de emisiones debido a edificios para 2050 Otros efectos – Cualitativamente similares a los producidos por las normas obligatorias para el uso eficiente de la energía	– Cualitativamente similares a los producidos por las normas obligatorias para el uso eficiente de la energía (véase más abajo), salvo que no hay costos de equipo para laboratorios de prueba ni costos de producción iniciales – Costos de verificación y ejecución	Factores administrativos/institucionales – Dificultad para mejorar sistemas integrados – Necesidad de personal capacitado – Cuestión de incentivos a terratenientes/arrendatarios – Concepción de programas para abordar todas las opciones – Necesidades de nuevas estructuras institucionales Factores políticos – Subvenciones cruzadas
	Medidas reglamentarias – Normas obligatorias para el uso eficiente de energía	Beneficios para el clima – Reducciones de 4-7% de emisiones debido a edificios para 2010 – Reducciones de 6-10% de emisiones debido a edificios para 2020 – Reducciones de 10-25% de emisiones debido a edificios para 2050 Otros efectos – Menos impactos sobre la tierra, el aire y el agua debido a la extracción, el transporte y la transmisión, la conversión y el uso de energía	Cuestiones económicas – Las reducciones de carbono son rentables con un período de amortización supuesto de <5 años Cuestiones macroeconómicas – Ahorros beneficiosos para la economía Efectos a nivel de proyectos – Necesidad de personal formado – Costos de análisis, prueba y formación – Costos de equipo para laboratorios de prueba – Costos de producción iniciales – Necesidad de nuevas estructuras institucionales – Cambios en atributos del producto	Factores administrativos/institucionales – Análisis, prueba y evaluación de capacidad – Laboratorios de prueba – Equipo de certificación – Acuerdo nacional, regional o internacional sobre procedimientos de prueba y sobre niveles normativos – Captación de capital para pruebas – Nuevas exigencias en la generación de energía futuras Factores políticos – Oposición de fabricantes – Oposición de otros grupos afectados – Respuesta a preocupaciones de ecologistas y consumidores

Cuadro 1 (continuación)

Opciones técnicas	Medidas	Efectos climáticos y otros efectos ambientales ^a	Efectos económicos y sociales	Consideraciones administrativas, institucionales y políticas
Integridad térmica de los edificios – Conductos más herméticos – Orientación adecuada – Aislamiento y hermeticidad – Ventanas para economizar energía	Medidas voluntarias – Normas voluntarias para el uso eficiente de energía Programas basados en el mercado – Sistemas de evaluación de la energía doméstica – Asistencia para la GD de servicios públicos a arquitectos/construtores – Programas de adquisición para edificios	Beneficios para el clima – Reducciones de las emisiones globales de 10-50% de las reducciones logradas con normas obligatorias Otros efectos – Similares a los producidos por las normas obligatorias para el uso eficiente de la energía Beneficios para el clima – Reducciones de 1,5-2% de emisiones debido a edificios para 2010 – Reducciones de 1,5-2,5% de emisiones debido a edificios para 2020 – Reducciones de 2-5% de emisiones debido a edificios para 2050 Otros efectos – Cualitativamente similares a los producidos por las normas obligatorias para el uso eficiente de la energía	– Cualitativamente similares a los producidos por normas obligatorias para el uso eficiente de la energía – Cualitativamente similares a los producidos por normas obligatorias para el uso eficiente de la energía en el equipo de los edificios, salvo que no hay costos de equipo para laboratorios de prueba ni costos de producción iniciales – Costos de verificación y ejecución	– Cualitativamente similar a los producidos por normas obligatorias para el uso eficiente de la energía Factores administrativos/institucionales – Dificultad para mejorar sistemas integrados – Necesidad de personal capacitado – Cuestión de incentivos a terratenientes/arrendatarios – Concepción de programas para abordar todas las opciones – Necesidad de nuevas estructuras institucionales Factores políticos – Subvenciones cruzadas
	Medidas reglamentarias – Normas obligatorias para el uso eficiente de energía	Beneficios para el clima – Reducciones de 1,5-2% de emisiones debido a edificios para 2010 – Reducciones de 1,5-2% de emisiones debido a edificios para 2020 – Reducciones de 2-5% de emisiones debido a edificios para 2050 Otros efectos – Cualitativamente similares a los producidos por las normas obligatorias para el uso eficiente de la energía	– Cualitativamente similares a los producidos por las normas obligatorias para el uso eficiente de la energía de equipo de edificios, aunque los costos de formación y aplicación pueden ser más altos	Factores administrativos/institucionales – Dificultad de aplicación – Dificultad para verificar el cumplimiento Factores políticos – Oposición de constructores – Oposición de otros grupos afectados – Respuesta a preocupaciones de ecologistas y consumidores

Nota: Los valores porcentuales de este cuadro corresponden a los valores absolutos de la sección del Cuadro 2 titulada "Reducciones potenciales mediante tecnologías de uso eficiente de energía obtenidas aplicando medidas". Para equiparar los valores hay que agregar los porcentajes de reducción de las emisiones de los programas basados en el mercado y de las normas obligatorias para el uso eficiente de la energía para el equipo de los edificios y la integridad térmica de los edificios (p. ej., las reducciones en 2010 de 2,5-4% mediante programas basados en el mercado para equipo de edificios más reducciones de 1,5-2% mediante programas basados en el mercado para integridad térmica de los edificios equivalen a 4-6%, lo que corresponde a reducciones de 95-160 Mt C mediante programas basados en el mercado del Cuadro 2).

viviendas y del uso de energía *per capita* (SIE II, 22.3.2.2, 22.3.3.2.3), mayor electrificación (SIE II, 22.3.2.2), el paso de combustibles de biomasa a combustibles fósiles para cocinar (SEI II, 22.4.1.4), una mayor generalización de electrodomésticos (SEI II, 22.3.2.3), y también del uso de acondicionamiento de aire (SEI II, 22.4.1.1). En aras de la simplificación, los

Cuadro 2: Emisiones anuales globales de carbono en el sector de los edificios y posibles reducciones de las emisiones aplicando medidas y políticas para reducir el uso de la energía en los edificios (Mt C) sobre la base del escenario IS92a del IPCC

	Emisiones anuales globales de carbono en el sector de los edificios (Mt C)			
	1990	2010	2020	2050
Fuente de las emisiones-Caso de referencia^a				
Edificios residenciales	1 200	1 500	1 600	2 100
Edificios comerciales	700	1 000	1 100	1 700
TOTAL	1 900	2 500	2 700	3 800
Emisiones anuales globales de carbono en el sector de los edificios (Mt C)				
Reducciones potenciales mediante tecnologías de uso eficiente de la energía suponiendo importantes actividades de IDyD^b (de SIE)				
Equipo residencial ^c		300	400	840
Integridad térmica residencial ^d		150	190	335
Equipo comercial ^c		200	275	680
Integridad térmica comercial ^d		65	85	170
REDUCCIONES TOTALES POTENCIALES		715	950	2 025
Reducciones potenciales mediante tecnologías de uso eficiente de la energía obtenidas aplicando medidas^e (sobre la base de una opinión pericial)				
Normas obligatorias para el uso eficiente de la energía ^f		135–225	210–350	450–1,125
Normas voluntarias para el uso eficiente de la energía		<i>g</i>	<i>g</i>	<i>g</i>
Programas basados en el mercado ^h		95–160	125–210	275–685
REDUCCIONES TOTALES REALIZABLES		230–385	335–560	725–1 810

Nota: “Las reducciones potenciales mediante tecnologías de uso eficiente de la energía” y las “reducciones potenciales mediante tecnologías de uso eficiente de la energía obtenidas aplicando medidas” no son aditivas, sino que la segunda categoría representa la parte de la primera que puede obtenerse con las medidas enumeradas.

^a La división en edificios residenciales y comerciales en 2010, 2020 y 2050 se estima sobre la base de la división de 1990 de 65% residenciales y 35% comerciales (SIE II, 22.2.1), y la previsión de que el sector comercial adquirirá mayor importancia en este período, llegando al 45% en 2050.

^b Sin importantes actividades de IDyD, algunas de las reducciones en 2010, una parte considerable de las reducciones en 2020, y la mayoría de las reducciones en 2050 no son posibles. Las reducciones de IDyD no se han mostrado por separado, porque se supone que se lograrán en las “reducciones potenciales mediante tecnologías de uso eficiente de la energía”. Los valores de 2050 comprenden la posibilidad de notables avances en IDyD.

^c El equipo comprende electrodomésticos, sistemas de calefacción y refrigeración, alumbrado, y todos los dispositivos enchufables (incluido el equipo de oficina). Las reducciones potenciales de carbono en el equipo residencial y comercial se calculan en el 20% de las emisiones en el sector residencial y comercial en 2010, el 25% en 2020, y el 40% en 2050, respectivamente.

^d Las reducciones potenciales de carbono en la integridad térmica residencial se calculan en el 25% de las emisiones atribuidas a la energía de calefacción y refrigeración utilizada en el sector (40% del uso total de energía en edificios residenciales) en 2010, el 30% en 2020, y el 40% en 2050. Las posibles economías en la integridad térmica comercial se calculan en el 25% de las emisiones atribuidas a la energía de calefacción y refrigeración utilizada en el sector (25% del uso total de energía en edificios comerciales) en 2010, el 30% en 2020 y el 40% en 2050.

^e Las reducciones potenciales de carbono mediante normas obligatorias para el uso eficiente de la energía y programas basados en el mercado pueden adicionarse, porque las estimaciones son moderadas y representan interacciones potenciales y posiblemente doble cómputo. Las reducciones potenciales de carbono se presentan como una gama de 60 a 100% de reducciones calculadas según se explica en las notas f y h para 2010 y 2020, y una gama de 60 a 150% de reducciones calculadas para 2050. El 60% supone la aplicación parcial de medidas. El 150% en 2050 supone avances en IDyD.

^f Las reducciones potenciales de carbono obtenidas mediante normas para el uso eficiente de la energía se calculan como la suma de 40% de reducciones en el equipo de edificios residenciales, el 25% de reducciones en el equipo de edificios comerciales, y el 25% de reducciones en la integridad térmica de edificios residenciales y comerciales en 2010, según se describe en las notas c y d y se muestra en este cuadro bajo “Economías potenciales mediante tecnologías de uso eficiente de la energía”. Para 2020 y 2050, las reducciones se calculan en el 50% de las reducciones de equipo de edificios residenciales, el 30% de las reducciones de equipo de edificios comerciales, y el 25% de reducciones de integridad térmica en edificios residenciales y comerciales.

^g Las reducciones de carbono varían de 10 a 50% de las reducciones mediante normas obligatorias, según la manera en que se apliquen normas voluntarias y según la participación de los fabricantes. Debido a la incertidumbre, este valor no se incluye en las economías totales realizables.

^h Las reducciones potenciales de carbono obtenidas mediante programas basados en el mercado se calculan como la suma de 15% de las reducciones de equipo en edificios residenciales, el 30% de las reducciones de equipo en edificios comerciales, y el 25% de reducciones de integridad térmica en edificios residenciales y comerciales en 2010. Para 2020 y 2050, las economías se calculan en el 15% del equipo de edificios residenciales, el 30% del equipo de edificios comerciales, y el 25% de reducciones de integridad térmica en edificios residenciales y comerciales.

autores suponen que para 2020 las zonas urbanas en países que no figuran en el Anexo I tendrán una distribución del uso final similar a las actuales en los países del Anexo I, por lo que las opciones de economía de energía y las medidas sobre la mayoría de los electrodomésticos, el alumbrado, el acondicionamiento de aire y el equipo de oficina serán semejantes en las zonas urbanas en ambos grupos de países. Se exceptúa la calefacción, que probablemente sea un sector gran usuario de energía sólo en algunos de los países que no figuran en el Anexo I, como China (SIE II, 22.2.1., 22.4.1.1.1). Además, se supone que la gama de opciones de economía de energía rentable será similar para los países del Anexo I y para los demás en 2020.

2.2.1 Equipo de edificios

Las mayores posibilidades de economías de energía se dan en el equipo de edificios. Las economías de energía rentables en esos usos finales varían según los productos y los precios de la energía, pero se pueden situar en la gama de 10-70% (más normalmente 30-40%) sustituyendo la tecnología actual por tecnologías de rendimiento energético, como hornos de condensación,

termobombas eléctricas con el aire como salida de calor, termobombas con el suelo como fuente de calor, acondicionadores de aire eficientes, calentadores de agua de termobomba con el aire como fuente de calor o salida de aire, refrigeradores eficientes, lavadores de eje horizontal, secadoras con termobomba, estufas de queroseno, lámparas fluorescentes compactas, lámparas fluorescentes eficientes, reguladores electrónicos, sistemas de control de alumbrado, ordenadores eficientes, mecanismos de velocidad regulable y motores eficientes (SIE II, 22.4) (véase el Cuadro 1).

Se espera que los edificios residenciales representen aproximadamente el 60% del uso de la energía global en los edificios en 2010, y que disminuya al 55% en 2050. Sobre la base de esta proporción, los escenarios IS92a indican que los edificios residenciales utilizarán una energía que produce 1,5 Gt C en 2010, 1,6 Gt C en 2020, y 2,1 Gt C en 2050, en tanto que los edificios comerciales producirán emisiones de 1,0 Gt C en 2010, 1,1 Gt C en 2020, y 1,7 Gt C en 2050. Sobre la base de la información presentada en el SIE, los autores estiman que las medidas de eficiencia con períodos de amortización para el consumidor de 5 años o

Cuadro 3: Emisiones anuales de carbono en el sector de los edificios en países del Anexo I y reducciones potenciales de las emisiones aplicando medidas y políticas para reducir el uso de la energía en los edificios (Mt C) sobre la base del escenario IS92a del IPCC

	Emisiones anuales globales de carbono en el sector de los edificios (Mt C)			
	1990	2010	2020	2050
Fuente de las emisiones-Caso de referencia^a				
Edificios residenciales	900	1 000	1 050	1 100
Edificios comerciales	500	700	750	900
TOTAL	1 400	1 700	1 800	2 000
Emisiones anuales globales de carbono en el sector de los edificios (Mt C)				
Reducciones potenciales mediante tecnologías de uso eficiente de la energía suponiendo importantes actividades de IDyD^b (de SIE)				
Equipo residencial ^c		200	260	440
Integridad térmica residencial ^d		125	160	220
Equipo comercial ^c		140	190	360
Integridad térmica comercial ^d		45	55	90
REDUCCIONES TOTALES POTENCIALES		510	665	1 110
Reducciones potenciales mediante tecnologías de uso eficiente de la energía obtenidas aplicando medidas (sobre la base de una opinión pericial)				
Normas obligatorias para el uso eficiente de la energía ^f		95-160	145-240	245-610
Normas voluntarias para el uso eficiente de la energía		<i>g</i>	<i>g</i>	<i>g</i>
Programas basados en el mercado ^h		70-115	90-150	150-380
REDUCCIONES REALIZABLES TOTALES		165-275	235-390	395-990

Las notas son las mismas que las del Cuadro 2, salvo para:

^d Las reducciones potenciales de carbono en la integridad térmica residencial se calculan en el 25% de las emisiones atribuidas a la energía de calefacción y refrigeración utilizada en el sector (50% del uso total de energía en edificios residenciales) en 2010, el 30% en 2020, y el 40% en 2050. Las posibles economías en la integridad térmica comercial se calculan en el 25% de las emisiones atribuidas a la energía de calefacción y refrigeración utilizada en el sector (25% del uso total de energía en edificios comerciales) en 2010, el 30% en 2020 y el 40% en 2050.

menos permitirán una reducción de las emisiones de carbono globales en los edificios residenciales y comerciales del orden de 20% en 2010, de 25% en 2020, y hasta de 40% en 2050, con relación a una referencia en la que mejora el rendimiento energético (véase la sección del Cuadro 2 titulada "Reducciones potenciales mediante tecnologías de uso eficiente de la energía").

2.2.2 *Integridad térmica en los edificios*

La calefacción y la refrigeración de edificios residenciales son en gran medida necesarias para compensar la transferencia de calor a través de las partes exteriores de los edificios (paredes, techos y ventanas). Mediante la modernización de edificios en Estados Unidos, construidos antes de 1975, se estima que pueden obtenerse economías de 30-35% entre 1990 y 2010, pero sólo la mitad de esas actividades serán rentables. Se considera que con la adopción de prácticas de construcción de tipo sueco en Europa occidental y en América del Norte se pueden reducir las necesidades de calefacción en un 25% en los nuevos edificios con relación a los construidos a finales del decenio de 1980 (SIE II, 22.4.1.1.1). Si bien en los grandes edificios comerciales suele predominar la carga interna, también hay grandes posibilidades de economizar energía en el diseño de las partes exteriores de los edificios (SIE II, 22.4.2.1.1). En los nuevos edificios se pueden obtener economías rentables mucho mayores que en los existentes (SIE II, 22.5.1). Como se prevé que el mayor crecimiento en la demanda de energía en los edificios se produzca en países que no figuran en el Anexo I, y que un gran porcentaje de ella corresponda a nuevos edificios, hay grandes posibilidades de obtener esas mayores economías si los edificios se diseñan y construyen teniendo en cuenta el rendimiento energético en esos países (SIE II, 22.4.1).

En general, sobre la base de la información presentada en el SIE y de las opiniones periciales, los autores estiman que mejorando las partes exteriores de los edificios (reduciendo la transferencia de calor y utilizando la debida orientación del edificio, ventanas que economicen energía y un albedo del edificio apropiado) se pueden reducir las emisiones de carbono resultantes del uso de energía para calefacción y refrigeración en edificios residenciales con un período de amortización de 5 años (o menos) en torno al 25% en 2010, el 30% en 2020, y hasta el 40% en 2050, con relación a una referencia en la que la integridad térmica de los edificios mejora. La calefacción y la refrigeración representan aproximadamente el 40% del uso global de la energía en los edificios residenciales, y se espera que disminuya algo como proporción de la energía total en los edificios residenciales. En los edificios comerciales, con las mejoras en la integridad térmica de ventanas y paredes, y períodos de amortización de 5 años o menos, las posibilidades de reducir las emisiones globales de carbono son menores, porque sólo el 25% aproximadamente del uso de la energía corresponde a la calefacción y la refrigeración, y es más difícil obtener reducciones en esas cargas en los edificios comerciales que en los residenciales (véase la sección del Cuadro 2 titulada "Reducciones potenciales mediante tecnologías de uso eficiente de la energía". La mayor parte de esas reducciones se lograrán sólo en nuevos edificios comerciales, pues las modificaciones de paredes y ventanas en los edificios existentes son costosas.

2.3 **Medidas para reducir las emisiones de GEI en el sector de edificios residenciales, comerciales e institucionales**

En los dos últimos decenios se han aplicado numerosas medidas para aumentar el rendimiento energético en el sector de los edificios. Estas consideraciones se centran en cuatro esferas de política general: i) programas basados en el mercado, en los que se proporciona a clientes o fabricantes asistencia técnica y/o incentivos; ii) normas obligatorias para el uso eficiente de la energía, aplicadas en el lugar de fabricación o en el momento de construcción; iii) normas voluntarias para el uso eficiente de la energía, y iv) mayor insistencia en programas de investigación, desarrollo y demostración privados o públicos para elaborar productos más eficientes. Los programas de información y de formación son un requisito previo esencial para la mayoría de tales medidas, pero es difícil estimar directamente las economías atribuibles a esos programas (SIE II, 22.5.1.6). Las subvenciones y los préstamos directos de los gobiernos no se consideran una categoría de política separada, sino que se tratan en el contexto de otras medidas como medio de reducir los costos de inversión privados⁸.

Las medidas consideradas aquí son muchas veces más eficaces si se combinan. Los programas de reglamentación, información, incentivos y otros, que se refuerzan mutuamente, constituyen el mejor medio de lograr partes importantes del potencial de rendimiento energético rentable (SIE II, 22.5.1.8). Los proyectos sobre la demanda pueden agruparse sin consideraciones para proporcionar un mayor "recurso" energético y atraer capital, especialmente en los países que no figuran en el Anexo I (SIE II, 22.5.1.7). Las medidas deben adaptarse cuidadosamente para abordar cuestiones concretas y obstáculos asociados a diversas características de los edificios, como las diferencias entre comerciales y residenciales, entre nuevas construcciones y modificación de los edificios existentes, y entre edificios en propiedad y en régimen de alquiler (SIE II, 22.5.1).

En todas las medidas, los beneficios ambientales asociados con el uso de equipo y edificios de mayor rendimiento energético comprenden la reducción de otras emisiones de centrales de energía (especialmente óxidos de azufre, óxidos de nitrógeno y partículas), menores impactos sobre la tierra y el agua resultantes de la extracción de carbón, la reducción de productos tóxicos en la atmósfera a causa de la quema de combustibles fósiles, y toda la gama de beneficios ambientales resultantes de la disminución de la extracción, el transporte y la transmisión, la conversión y el uso de energía (Levine y otros, 1994)

2.3.1 *Programas basados en el mercado*

Los programas basados en el mercado, que proporcionan alguna clase de incentivos para fomentar el empleo de tecnologías y de prácticas de uso eficiente de la energía, pueden dividirse en las cinco categorías siguientes:

⁸ Véase también la Sección 9, Instrumentos económicos.

- Programas gubernamentales o de servicios públicos con los que se consiguen *acuerdos voluntarios* de los clientes (normalmente industrias o propietarios/operadores de grandes edificios comerciales) para aplicar medidas de rendimiento energético rentables a cambio de asistencia técnica y/o ayuda para la comercialización (por ejemplo, programas del Departamento de Energía y del Organismo de Protección del Medio Ambiente de Estados Unidos como *Green Lights*, *Motor Challenge*, and *Energy Star Computers*) (SIE II, 22.5.1.6).
- *Programas de adquisición*, en los que compradores muy importantes (normalmente gobiernos) encargan grandes cantidades de unidades de elevado rendimiento (SIE II, 22.5.1.1). Como ejemplos cabe citar el programa sueco de adquisición de tecnología NUTEK y el de adquisición en cooperación de tecnologías innovadoras del Organismo Internacional de Energía.
- *Programas de incentivos para los fabricantes*, en los que se organiza un concurso y se concede una sustancial recompensa por el desarrollo y la comercialización de un producto de elevado rendimiento [por ejemplo, el Programa de refrigerador supereficiente (SERP)] de Estados Unidos (SIE II, 22.5.1.1).
- Programas de *gestión de la demanda (GD) de servicios públicos* en los que conceden incentivos a los clientes para la adquisición de productos de rendimiento energético (SIE II, 22.5.1.4)
- Creación de compañías de servicios de energía, estimulada muchas veces por programas del gobierno y de los servicios públicos, que pagan el costo total de productos de rendimiento energético a cambio de una parte de futuras economías en el costo de la energía (SIE II, 22.5.1.4).

Los programas basados en el mercado se pueden utilizar en lugar de normas, o además de ellas. En combinación con las normas, los programas basados en el mercado pueden concebirse de manera que induzcan a aceptar tecnologías nuevas e innovadoras en el mercado antes de lo que se haría de otro modo. Cuando se combinan con programas activos y continuos de IDyD, esos esfuerzos probablemente tengan importantes consecuencias a largo plazo sobre la disponibilidad y el rendimiento de tecnologías modernas, más eficientes. En el caso de los electrodomésticos, el alumbrado y el equipo de oficina, esos programas pueden influir en un gran número de compradores, muchos de ellos con pocos conocimientos sobre el rendimiento energético del producto o poco interés en ello. Cuando se combinan programas basados en el mercado y normas obligatorias se pueden superar más fácilmente algunas de las dificultades de la imposición de normas, y se puede conseguir un mayor impacto que con las normas solamente.

Otro aspecto importante es que los programas basados en el mercado pueden orientarse a sistemas de edificios, (por oposición a piezas de equipo individuales) con el fin de reducir el consumo de energía resultante del diseño, la instalación, el mantenimiento y el funcionamiento de sistemas de calefacción y refrigeración inadecuados. Hay numerosos ejemplos de problemas en los sistemas, como desajustes entre sistemas de

distribución de aire y refrigeradores, falta de sistemas de control en los edificios o rendimiento inadecuado de los mismos, calefacción y refrigeración simultáneas de diferentes partes del mismo edificio, etc.

Sobre la base de una opinión pericial, los autores estiman que los programas basados en el mercado permitirán reducciones globales de las emisiones de carbono del orden de 5% con respecto a las emisiones previstas relacionadas con los edificios (escenarios IS92) para 2010, de 5-10% para 2020 y de 10-20% para 2050 (véase la sección del Cuadro 2 titulada “Reducciones potenciales mediante tecnologías de uso eficiente de la energía obtenidas aplicando medidas”), después de prever una estimación de la parte de las economías que se “recupera” con mayores servicios (utilización).

Los estudios sobre los costos y beneficios de esos programas conforme se aplican en Estados Unidos indican generalmente que hay rentabilidad (SIE II, 22.5.1.4). Sin embargo, no es posible generalizar, puesto que los análisis han sido limitados y los costos y las economías dependen de las tecnologías concretas que se fomentan y del método utilizado para aplicar el programa.

Las principales cuestiones administrativas, institucionales y políticas en la aplicación de programas basados en el mercado para el equipo de edificios residenciales y comerciales son las siguientes:

- Dificultades para mejorar sistemas integrados.
- La necesidad, y la escasez, de personas calificadas capaces de diagnosticar y rectificar problemas en los sistemas.
- El hecho de que los usuarios de energía no son muchas veces responsables de pagar las facturas, lo que crea un obstáculo para aumentar la eficiencia (SIE II, 22.5.1).
- La necesidad de estructurar incentivos para que con la intervención en los edificios se trate de lograr medidas de rendimiento energético totalmente rentables.
- La necesidad de crear estructuras institucionales para que los programas basados en el mercado funcionen efectivamente.
- La percepción (o realidad) de subvenciones cruzadas y la falta de equidad conexas en los gastos.

2.3.2 Medidas reglamentarias

Las normas obligatorias o para el uso eficiente de la energía – en virtud de las cuales los gobiernos establecen requisitos específicos para que todos los productos (o una media de todos los productos) fabricados y los edificios construidos satisfagan determinados criterios sobre el uso de la energía – constituyen una importante opción reglamentaria para los edificios comerciales y residenciales; mediante tales normas se pueden obtener las mayores economías en este sector (SIE II, 22.5.1.2, 22.5.1.3). Los aparatos eléctricos tienen una vida útil de 10 a 20 años (SIE II, 22.4.1.5), en tanto que el equipo de calefacción y refrigeración se sustituye en un período de tiempo ligeramente mayor. Debido a estas rápidas tasas de renovación, las

existencias ineficientes pueden remplazarse con relativa rapidez por otras más eficientes que respondan a las normas establecidas. Sin embargo, en los edificios residenciales y comerciales la duración se sitúa normalmente entre 50 y 100 años.

Según el rigor de los niveles normativos, los autores estiman (sobre la base de una opinión pericial) que con las normas obligatorias aplicadas a los electrodomésticos, a otro equipo de utilización de energía en los edificios y a las partes exteriores de éstos se pueden lograr reducciones de las emisiones globales de carbono del orden de 5-10% de las emisiones previstas relacionadas con los edificios (escenarios IS92) para 2010, de 10-15% para 2020, y de 10-30% para 2050 (véase la sección del Cuadro 2 titulada "Reducciones potenciales mediante tecnologías de uso eficiente de la energía obtenidas aplicando medidas") después de prever una estimación de la parte de las economías que se "recupera" con mayores servicios (utilización).

Las normas obligatorias para el uso eficiente de la energía se establecen normalmente a niveles de rentabilidad, de manera que los beneficios en términos de economías de energía compensen cualesquiera costos adicionales asociados con el producto o edificio más eficiente. Por lo tanto, con esas normas se obtienen reducciones en las emisiones de carbono, por término medio a un costo negativo neto. Tomando como ejemplo la incidencia de las normas sobre aparatos en los edificios residenciales durante el período 1990-2015 de la National Appliance Energy and Conservation Act (NAECA) de Estados Unidos, se prevé que los costos acumulativos netos actuales de las normas sobre aparatos aplicadas ya en Estados Unidos asciendan a 32 000 millones \$, y las economías netas actuales se estiman en 78 000 millones \$ (en \$ EE.UU. de 1987) (Levine, y otros, 1994).

Los costos a nivel de proyectos asociados con normas obligatorias comprenden costos de programas para el análisis, la prueba y la evaluación de los productos. Se necesitarán laboratorios y equipo de prueba para certificar el rendimiento de los aparatos en un país o grupo de países que no dispongan de ellos y en que la demanda sea cada vez mayor. Otros costos importantes son los de inversión para la fabricación inicial de productos más eficientes, la necesidad de personal capacitado y la de nuevas estructuras institucionales.

Entre los problemas administrativos, institucionales y políticos asociados con la aplicación de normas obligatorias para el uso eficiente de la energía figuran los siguientes:

- Oposición de la industria por diversas razones (pérdida percibida de rentabilidad, exigencias de los gobiernos para aumentar las inversiones, posibilidad de que las compañías deban cesar sus actividades y reducción de la competencia)
- oposición de otros grupos que pueden resultar adversamente afectados (por ejemplo, compañías eléctricas en el caso de algunas normas)
- dificultad para conseguir el acuerdo entre diferentes países sobre procedimientos de prueba uniformes y normas comparables, cuando sea conveniente

- dificultad para obtener dinero con fines de inversión en laboratorios de prueba y para sufragar los gastos de realización de las pruebas requeridas (problema particularmente agudo en los países que no figuran en el Anexo I a pesar de que los beneficios netos son muy superiores a esos costos).

Para superar esas dificultades habrá que realizar considerables esfuerzos. Como muchos aparatos se diseñan, conceden, fabrican y venden en diferentes países con costos de energía y hábitos de uso por el consumidor variables, para superar numerosos obstáculos institucionales tal vez se requieran iniciativas regionales y medios de financiación para establecer normas y laboratorios de prueba, sobre todo en países del Anexo I con economías en transición y países que no figuran en el Anexo I.

Las normas obligatorias para el uso eficiente de la energía conllevan también beneficios administrativos, institucionales y políticos, como responder a preocupaciones del consumidor y medioambientales, reducir futuras necesidades de capacidad de generación, y conceder credibilidad a los fabricantes que van a la vanguardia en la introducción de productos de elevado rendimiento energético mediante procedimientos de prueba uniformes. Armonizando los procedimientos de prueba y las normas se pueden disminuir los costos de fabricación resultantes del cumplimiento de varios requisitos.

2.3.3 Normas voluntarias

Las normas voluntarias para el uso eficiente de la energía, en virtud de las cuales fabricantes y constructores acuerdan (sin legislación impuesta por el gobierno) generar productos o construir edificios que cumplan determinados criterios sobre el uso de la energía, pueden servir de elementos precursores o alternativos a las normas obligatorias. (SIE II, 22.5.1.2). Para los productos abarcados por tales normas tiene que haber acuerdo sobre procedimientos de prueba, equipo y laboratorios de prueba adecuados para certificar el equipo, y etiquetado del producto, a fin de satisfacer los requisitos previos de las normas obligatorias. Las normas voluntarias han tenido más éxito en el sector comercial que en el residencial, presumiblemente porque los clientes comerciales conocen mejor el uso de la energía y la eficiencia del equipo que los consumidores residenciales.

El uso de la energía y las reducciones de las emisiones de carbono con las normas voluntarias varían considerablemente, según la manera en que se realizan y la participación de los fabricantes. Sobre la base de una opinión pericial, los autores estiman que las reducciones globales de las emisiones de carbono mediante esas normas pueden variar de 10 a 50% (e incluso más si se combinan con fuertes incentivos) de las reducciones obtenidas con normas obligatorias.

Los costos a nivel de proyectos asociados con normas voluntarias (costos de equipo y laboratorios de prueba, y costos de inversión iniciales) son los mismos que en el caso de las normas obligatorias. El aumento de la inversión en productos más eficientes será, empero, menor que en el caso de las normas obligatorias, pues se espera que las voluntarias afecten menos al mercado.

Los problemas administrativos, institucionales y políticos vinculados con el logro de normas voluntarias son similares a los de las normas obligatorias, pero de menor magnitud, en proporción a su capacidad de influir en los beneficios de rendimiento energético en los aparatos eléctricos, en otro equipo y en los edificios.

2.3.4 Investigación, desarrollo y demostración

Los programas de IDyD fomentan la creación de nuevas tecnologías para que las medidas tengan efectos a más largo plazo. En general, sólo las grandes industrias y los gobiernos disponen de los recursos y del interés requeridos para las actividades de IDyD. En cambio, la industria de la construcción está muy fragmentada, por lo que es difícil que mancomune sus recursos para IDyD. La IDyD apoyada por el gobierno ha desempeñado una función esencial en el desarrollo y comercialización de varias tecnologías de uso eficiente de la energía, como ventanas de poca emisividad calorífica, reguladores electrónicos y compresores refrigeradores de elevado rendimiento. En tanto que los resultados de IDyD en países del Anexo I pueden transferirse con frecuencia a otros países, existen condiciones propias de esos países que requieren especial atención, como el diseño y la construcción de los edificios en climas cálidos y húmedos. Por esta razón, es esencial establecer una infraestructura de IDyD mediante la colaboración entre investigadores, basada en especialistas de IDyD de países que no figuran en el Anexo I y de países del Anexo I y otros países (SIE II, 22.5.1.5).

En el Cuadro 2 no se asigna una estimación concreta de la reducción de las emisiones de carbono a IDyD; únicamente se dice que para lograr economías sustanciales de energía en el período siguiente a 2010 se necesitará una vigorosa IDyD sobre medidas de uso más eficiente de la energía en edificios, lo que abarca mejoras en el equipo, el aislamiento, las ventanas, las superficies exteriores y, especialmente, en los sistemas de construcción. Es fundamental señalar que sin importantes

actividades de IDyD, no se realizarán las posibles reducciones de las emisiones en el sector de edificios residenciales, comerciales e institucionales.

2.4 Reducciones globales de las emisiones de carbono aplicando tecnologías y medidas en el sector de edificios residenciales, comerciales e institucionales

En los Cuadros 1 y 2 figura una gama de reducciones totales de las emisiones que pueden lograrse en todos los edificios residenciales, comerciales e institucionales. Se estima que esas reducciones serán del orden de 10-15% de las emisiones previstas en 2010, de 15-20% en 2020, y de 20-50% en 2050, sobre la base de los escenarios IS92. Por consiguiente, se prevé que las reducciones totales de las emisiones de carbono que pueden lograrse en el sector de la construcción se sitúan (sobre la base de los escenarios IS92) en una gama de 0,175-0,45 Gt C/año en 2010, de 0,25-0,70 Gt C/año en 2020, y de 0,35-2,5 Gt C/año en 2050.

Las medidas descritas pueden diferenciarse sobre la base de sus posibilidades para reducir las emisiones de carbono, su rentabilidad y su dificultad de aplicación. Todas las medidas tendrán efectos favorables para la economía global, siempre y cuando los ahorros de energía sean rentables. Los beneficios para el medio ambiente son aproximadamente proporcionales a las reducciones en la demanda de energía y, por ende, a las economías de carbono. Los costos administrativos y de transacción de las diversas medidas pueden variar notablemente. Si bien puede ser difícil administrar los códigos y las normas de construcción, en muchos países se necesita ahora algún nivel mínimo de rendimiento energético en las nuevas edificaciones. En muchos de los programas de mercado se introduce alguna complejidad, pero con frecuencia pueden concebirse para lograr economías que de otro modo sería muy difícil obtener. Los programas de normas sobre aparatos son, en principio, los que pueden aplicarse más fácilmente, pero quizá no sea fácil lograr el consenso político sobre esos programas.

3. SECTOR DEL TRANSPORTE⁹

3.1 Introducción

En 1990, las emisiones de CO₂ debidas al uso de energía en el sector del transporte ascendieron a unos 1,25 Gt C: la quinta parte de las emisiones de CO₂ producidas por el uso de combustibles fósiles (SIE II, 21.2.1). Entre otras emisiones importantes de GEI del sector figuran N₂O de emisiones de tubos de escape de los automóviles con convertidores catalíticos; CFC y HFC, resultantes de sistemas de acondicionamiento de aire; y NO_x emitidos por aeronaves cerca de la tropopausa (a esta altura, el ozono generado por NO_x es un GEI muy potente). El uso de energía en el transporte mundial crece más rápidamente que en cualquier otro sector, a una media de 2,4% anual entre 1973 y 1990 (SIE II, 21.2.1).

La mitigación de GEI en el sector del transporte presenta una dificultad particular debido a la excepcional función de los viajes y el movimiento de mercancías para que la gente pueda atender necesidades personales, sociales, económicas y de desarrollo (SIE II, 21.2.3). Este sector puede ofrecer también una oportunidad especial porque el diseño de vehículos y las características del combustible son comunes. En el transporte hay muchos interesados, entre ellos los usuarios del transporte privado y comercial, los fabricantes de vehículos, los suministradores de combustibles, los constructores de carreteras, los planificadores y los proveedores de servicios de transporte.

Las medidas para reducir las emisiones de GEI en el transporte están muchas veces en conflicto con los intereses de uno u otro de esos beneficiarios. Las estrategias de mitigación en este sector pueden fracasar a menos que tengan en cuenta las preocupaciones de los beneficiarios y ofrezcan mejores medios para responder a las necesidades que atiende el transporte. La elección de la estrategia dependerá de las capacidades económicas y técnicas del país o región que se considere (SIE II, 21.4.7).

3.2 Tendencias y proyecciones de las emisiones globales de carbono

En el Cuadro 4 se muestra el uso de la energía por diferentes modos de transporte en 1990, y dos escenarios posibles de emisiones de CO₂ hasta 2050 (SIE II, 21.2). Esos dos escenarios se utilizan en esta sección como base para evaluar los efectos de las medidas sobre las emisiones de GEI. El consumo específico de energía declinó en 0,5-1% anual en el transporte por carretera entre 1970 y 1990, y en 3-3,5% anual en el transporte aéreo entre 1976 y 1990. Las gamas de futuro crecimiento del

⁹ Esta sección se basa en el SIE II, Capítulo 21, *Mitigation Options for Human Settlements* (Autores principales: L. Michaelis, D. Bleviss, J.-P. Orfeuil, R. Pischinger, J. Crayston, O. Davidson, T. Kram, N. Nakicenovic y L. Schipper).

Cuadro 4: *Uso global de energía en el transporte hasta 2050 — escenarios BAJO y ALTO^a.*

Modo de transporte	1990 Energía ^b (EJ)	1990 CO ₂ emitido ^c (Mt C)	Crecimiento del tráfico ^d (%)	Intensidad energética ^e (%)	Emisiones de CO ₂ (Mt C)					
					2010		2020		2050	
					BAJO	ALTO	BAJO	ALTO	BAJO	ALTO
Automóviles, otros vehículos personales y ligeros de transporte de mercancías	30–35	555–648	1.4–2.1	–1.0–0.0	592	989	612	1 223	674	2 310
Vehículos pesados de transporte de mercancías y autobuses	20–23	370–426	1.9–2.7	–0.6–0.0	470	718	530	933	758	2 047
Aéreo	8	148	3.2–4.0	–2.0–0.6	187	308	210	444	297	1 330
Otro (ferrocarril, vías de navegación interiores)	4	74	0	–0.3–0.3	70	78	68	80	62	87
GAMA TOTAL	63–71	1 166–1 314			1 318	2 094	1 418	2 680	1 791	5 774
	30–35	555–648	1.4–2.1	–1.0–0.0	592	989	612	1,223	674	

^a Basado en SIE II, 21.2.5 y 21.3.1, salvo que se indique otra cosa

^b Basado en SIE II, 21.2.1.

^c Las emisiones de CO₂ de este cuadro se han calculado a partir del consumo de energía utilizando un factor de emisión constante para todos los modos de 18,5 Mt C/EJ.

^d Basado en SIE II, 21.2.4.

^e Uso de energía por kilómetro y vehículo en el caso de los automóviles; uso de energía por kilómetro y tonelada para los vehículos de transporte de mercancías y el flete ferroviario, marítimo y aéreo; y energía por kilómetro y pasajero en el caso de los autobuses, el transporte aéreo y ferroviario.

tráfico y reducción de la intensidad energética que se muestran en el cuadro se espera que sean inferiores a las del pasado (SIE II, 21.2.5). En la mayoría de los escenarios se prevé una constante reducción de las tasas de crecimiento del uso de la energía, en tanto que estos dos escenarios se basan en tasas de crecimiento permanente; de ahí que las estimaciones del escenario ALTO de este cuadro sean muy superiores a las del escenario IS92e para 2050. El escenario BAJO en 2020 es inferior en un 10% aproximadamente al escenario IS92c, y no es probable que se produzca sin algún cambio en las condiciones del mercado (como un fuerte aumento de los precios del petróleo) o nuevas políticas; por ejemplo, para reducir la contaminación atmosférica y la congestión del tráfico en las ciudades.

Las principales fuentes de GEI en el sector del transporte en 2050 probablemente sean los automóviles y otros vehículos ligeros (VL), los vehículos pesados (VP) y las aeronaves. Actualmente, el crecimiento porcentual anual en todos estos sectores es particularmente alto en Asia sudoriental, en tanto que en algunos países de Europa central y oriental se registra un rapidísimo aumento de propietarios de automóviles. Los vehículos de dos ruedas, especialmente los velomotores con motores de dos tiempos, son uno de los medios de transporte personal de mayor expansión en partes de Asia meridional y oriental y América Latina, pero sólo representan entre el 2 y el 3% del uso de la energía en el transporte global (SIE II, 21.2.4). Esos vehículos tienen emisiones muy altas de contaminantes locales.

Los países del Anexo I representaron aproximadamente las tres cuartas partes de las emisiones de CO₂ en el sector del transporte global en 1990. Esa proporción probablemente decline entre un 60 y un 70% aproximadamente en 2020 (SIE II, 21.2.2) y todavía más en 2050, suponiendo un crecimiento rápido y constante en los países que no figuran en el Anexo I.

3.3 Tecnologías para reducir las emisiones de GEI en el sector del transporte

Los sistemas de transporte y la tecnología evolucionan rápidamente. Si bien esa evolución ha comprendido en el pasado reducciones en la intensidad energética para la mayoría de los tipos de vehículos, en el decenio anterior a 1996 la reducción ha sido relativamente pequeña. En cambio, los avances técnicos recientes se han utilizado sobre todo para mejorar el rendimiento, la seguridad y los accesorios (SIE II, 21.2.5). Apenas hay pruebas de saturación de la demanda de energía del transporte, pues los ingresos marginales se siguen utilizando para un modo de vida en el que se utiliza más el transporte, en tanto que el mayor valor añadido en la producción comprende un mayor movimiento de bienes intermedios y sistemas de transporte de carga más rápidos y más flexibles.

En el SIE (II 21.3) se consideran varias opciones de mitigación tecnológica e infraestructural. Algunas son ya rentables en determinadas circunstancias (su utilización disminuye los costes del transporte privado, teniendo en cuenta las economías de energía, las mejoras del rendimiento, etc.). Esas opciones abarcan mejoras en el rendimiento energético; fuentes de

energía alternativas y cambios estructurales, otros medios de transporte y gestión de parques. La rentabilidad de esas operaciones técnicas varía mucho entre los distintos usuarios y entre países, según los recursos disponibles, los conocimientos técnicos, la capacidad institucional y la tecnología, así como de acuerdo con las condiciones del mercado local.

3.3.1 Mejoras en el uso eficiente de la energía

Para los operadores de vehículos sería rentable alguna reducción de la intensidad energética, porque las economías de combustibles compensarían el costo adicional de vehículos de mayor rendimiento energético (SIE II, 21.3.1). Según varios estudios, esas economías potenciales no se logran por diversas razones, en particular debido a su poca importancia para fabricantes y compradores de vehículos en relación con otras prioridades, como fiabilidad, seguridad y rendimiento. Muchos usuarios de vehículos también presupuestan el funcionamiento del vehículo independientemente de su adquisición, sobre todo cuando esta última depende de conseguir un préstamo, porque para ellos el precio del vehículo no corresponde directamente a los costos de funcionamiento. Si bien las economías de combustible tal vez no justifiquen el tiempo, el esfuerzo y el riesgo que suponen para el comprador individual o empresarial del vehículo, se pueden conseguir a través de medidas que minimizan o eluden esos obstáculos. Tanto en los automóviles como en otros vehículos personales, las economías rentables para los usuarios en 2020 pueden equivaler al 10-25% del uso de la energía previsto con aumentos en los precios de los vehículos de 500 a 1500 \$. Aunque es posible obtener mayores economías a un costo más alto, no sería rentable hacerlo (CNI, 1992; ETSU, 1994; DeCicco y Ross, 1993; Greene and Duleep 1993).

Las posibilidades de realizar economías de energía rentable en los vehículos comerciales se han estudiado menos que en el caso de los automóviles y se estima que son más pequeñas – tal vez 10% para los autobuses, trenes y camiones medianos y pesados, y aviones –, porque los operadores comerciales tienen ya incentivos más importantes para utilizar tecnología rentable (SIE II, 21.3.1.5).

Es posible conseguir reducciones de intensidad energética por encima del nivel de rentabilidad para los usuarios; ahora bien, los cambios en el diseño de los vehículos que ofrecen mayores reducciones de intensidad energética probablemente influyan también en diversos aspectos de rendimiento de los vehículos (SIE II, 21.3.5). El logro de esos cambios, dependerá, pues, de una alteración en las prioridades de los fabricantes y los compradores de vehículos o de avances en el rendimiento y el costo de la tecnología.

Cuando las reducciones de la intensidad energética se deben a un mejor diseño de la carrocería del vehículo la mitigación de GEI puede ir acompañada de una reducción en las emisiones de otros contaminantes atmosféricos, cuando éstos no estén sometidos al control de normas que exigen efectivamente la utilización de convertidores catalíticos. Por otra parte, algunos diseños de motores de rendimiento energético (por ejemplo,

inyección directa de combustible y motores de escasa combustión interna producen emisiones de NO_x o materia particulada relativamente altas (SIE II, 21.3.1.1),

Para introducir cambios en la tecnología de los vehículos tal vez haya que efectuar grandes inversiones en nuevos diseños, técnicas y cadenas de producción. Esos costos a corto plazo pueden minimizarse si las mejoras de rendimiento energético se integran en el ciclo normal del producto de los fabricantes de vehículos. Para los automóviles y camiones, esto significa que pueden transcurrir 10 años entre el cambio de prioridades o incentivos en el mercado de vehículos y el momento en que se reflejan todos los resultados de ese cambio en los vehículos producidos. Para los aviones, el plazo es más largo debido a la larga vida útil del avión y a que la nueva tecnología sólo se aprueba para utilizarla con carácter general una vez demostrado su funcionamiento seguro tras varios años de experimentación.

3.3.2 Fuentes alternativas de energía

Sobre la base del ciclo de combustible completo, con otros combustibles de fuentes de energía renovables se pueden reducir las emisiones de GEI producidas por el funcionamiento de los vehículos (es decir, excluidas las derivadas de su fabricación) en un 80% o más (SEI II, 21.3.3.1). En la actualidad, esos combustibles son más costosos que los productos de petróleo en la mayoría de los casos, aunque los vehículos que funcionan con biocombustibles líquidos pueden obtener un rendimiento tan alto como los vehículos tradicionales, y los costos de fabricación no tienen por qué ser más elevados que en la producción en serie. El uso generalizado de esos combustibles depende de la superación de diversos obstáculos como los costos de pasar a nuevos tipos de vehículos, tecnología de producción y distribución del combustible, preocupaciones por la seguridad y la toxicidad, y posibles problemas de rendimiento en algunos climas. El uso generalizado de hidrógeno y electricidad en los vehículos de carretera crea dificultades técnicas y de costo todavía no superadas.

Los combustibles fósiles alternativos a la gasolina [por ejemplo, diesel, gas de petróleo líquido (GPL), gas natural comprimido (GNC)] pueden permitir reducciones de las emisiones de 10-30% por km, y son ya rentables en pequeños mercados, como en el caso de los vehículos de gran circulación y los que forman parte de parques, incluidos los pequeños autobuses urbanos y las camionetas de reparto (SEI II 21.3.3.1). Varios gobiernos han alentado el uso de GPL y GNC porque producen menos emisiones de contaminantes tradicionales que la gasolina y el diésel, pero el paso de la gasolina al diesel puede causar emisiones más altas de partículas y de NO_x . Con el uso de vehículos híbridos y flexibles en cuanto a combustibles, los vehículos de combustibles alternativos y eléctricos pueden responder a las necesidades de movilidad de una gran parte de usuarios, pero a mayor costo y con menores reducciones de GEI que los vehículos que utilizan un sólo combustible (SIE II, 21.3.4). No es probable que las alternativas al diesel sean rentables para los usuarios de vehículos pesados, y en muchas de ellas las emisiones de GEI serán mayores (SEI II, 21.3.3.2).

Sin embargo, un pequeño pero creciente número de autobuses urbanos y vehículos de reparto funcionan con GNC, GPL o gas natural líquido (GNL) para reducir las emisiones urbanas de NO_x y partículas. Se están investigando alternativas al queroseno en las aeronaves, pero no es probable que sean rentables a corto plazo (SIE II, 21.3.3.3). Gran parte de la incitación política para el uso de combustibles alternativos persigue objetivos distintos a la mitigación de GEI, como la mejora de la calidad del aire urbano, el mantenimiento del empleo agrícola y la seguridad energética.

3.3.3 Cambios en la infraestructura y en los sistemas

La densidad urbana, la infraestructura urbana y del transporte y el diseño de sistemas de transporte pueden influir en la distancia que han de recorrer las personas de acuerdo con sus necesidades y en la elección de los medios de transporte (SIE II, 21.4.2). Esos factores influyen también en el volumen del transporte de carga y en los modos utilizados. El grado de esos diversos efectos es controvertido, y procede señalar que la infraestructura urbana y del transporte está concebida sobre todo para fines distintos de la mitigación de GEI.

Con los sistemas de gestión del tráfico y de parques se pueden lograr economías de energía del orden del 10% o más en zonas urbanas (SIE II, 21.4.2). El uso de la energía para el transporte de carga puede reducirse sustancialmente modificando la gestión de los parques de camiones. Pasando de la carretera al ferrocarril se pueden conseguir economías de 0-50% y lograr muchas veces reducciones de las emisiones de GEI proporcionales o mayores, sobre todo cuando los trenes funcionan con electricidad de fuentes de combustibles no fósiles (SIE II 21.3.4, 21.4.2). La rentabilidad y las posibilidades prácticas del transporte de carga por ferrocarril varían mucho según las regiones y los productos (SIE II, 21.2.5). El potencial a largo plazo del transporte por ferrocarril puede depender de la evolución de las tecnologías de sistemas combinados que permitan insistir más en la flexibilidad y la conformidad.

3.4 Medidas para reducir las emisiones de GEI en el sector del transporte

Un primer paso para alcanzar los objetivos del clima en el sector del transporte es introducir medidas de mitigación de GEI totalmente justificadas por otros objetivos de intervención. Con esas medidas se puede aumentar la competitividad de la industria, fomentar la seguridad energética, mejorar la calidad de vida de los ciudadanos o proteger el medio ambiente (SIE II, 21.4). En principio, la manera más eficiente económicamente de abordar todas esas cuestiones es suprimir las subvenciones que existen en algunos países al transporte por carretera, e introducir mecanismos de determinación de precios que reflejen plenamente el costo del transporte en términos sociales y ambientales (SIE II, 21.4.5).

En la práctica, tal vez sea difícil aplicar por razones técnicas y políticas medidas eficientes como las cargas para el usuario de la carretera. Las circunstancias locales exigen soluciones

locales, y el éxito de las estrategias puede depender de que estén bien concebidas:

- con una comprensión del sistema actual y de su evolución;
- incluida la consideración de una amplia serie de medidas;
- en consulta con los interesados;
- incluidos mecanismos de verificación y ajuste (SIE II, 21.4.7).

Este análisis no puede proporcionar una evaluación global, pero se consideran en él las series de posibles efectos de las medidas, y se centra en tres grupos de vehículos que constituirán, según se prevé las principales fuentes de GEI en 2020 (a saber, VL, VP y aeronaves).

La inmensa mayoría de los parques de vehículos mundiales corresponde a los países del Anexo I; los países en desarrollo tenían aproximadamente la décima parte de los automóviles mundiales en 1990. Casi todos los vehículos producidos en el mundo se fabrican en países del Anexo I o con diseños que tienen su origen en ellos (SIE II, 21.2.4). Las políticas introducidas en países del Anexo I que afectan a la tecnología de los vehículos probablemente tengan, pues, efectos mundiales.

3.4.1 *Medidas que afectan a los vehículos ligeros y al tráfico urbano*

La gestión a largo plazo de las emisiones de GEI procedentes de vehículos ligeros probablemente dependa de la aplicación de una amplia serie de estrategias que abarquen varias esferas de adopción de políticas y niveles de gobierno (SIE II, 21.4.1). Tales estrategias pueden comprender diversas medidas, como normas para economizar combustible (SIE II, 21.4.3), impuestos sobre los combustibles (SIE II, 21.4.5.2), incentivos para el uso de combustibles alternativos (SIE II, 21.3.3), medidas para reducir el uso de los vehículos (SIE II, 21.4.2) e IDyD en la tecnología de los vehículos y los sistemas de transporte (SIE II, 21.3.6), algunas de las cuales se evalúan en el Cuadro 5. La eficacia relativa de las políticas depende de circunstancias nacionales, incluidas las instituciones y políticas existentes, y de las tendencias tecnológicas en que se basan. Las medidas para reducir las emisiones de GEI producidas por automóviles son normalmente apropiadas para otros vehículos ligeros, como pequeños camiones, camionetas, minibuses y vehículos utilitarios deportivos. Estos tipos de vehículos se utilizan cada vez más como vehículos personales, lo que supone mayores emisiones de GEI.

Este mayor uso puede estimularse si esos vehículos no están sometidos a las mismas medidas que los automóviles.

Muchas de las medidas del Cuadro 5 pueden justificarse total o parcialmente por objetivos distintos de la mitigación de GEI. Las normas para economizar combustible y las rebajas de tasas pueden justificarse como medio de superar obstáculos al mercado que impiden aprovechar tecnología de elevado rendimiento energético. El aumento de los impuestos sobre los combustibles también puede producir diversos beneficios sociales y ambientales, y generar al mismo tiempo ingresos que

pueden utilizarse para atender necesidades prioritarias en el sector del transporte o en otros, aunque también pueden tener inconvenientes para algunos usuarios del transporte.

Los más probable es que los gobiernos adopten medidas combinadas. Por ejemplo, las normas para la economía de combustible y los incentivos pueden suponer un menor costo de utilización de los vehículos, y por consiguiente más tráfico, a menos que se apliquen junto con impuestos sobre el combustible, fijación de precios de la circulación por carretera y otras medidas disuasorias. También es probable que los proveedores de energías renovables puedan responder a las futuras necesidades de energía para el transporte si la intensidad energética y los niveles de tráfico se mantienen bajos. Por lo tanto, la eficacia de los incentivos para comprar vehículos que utilicen combustibles alternativos puede aumentarse mediante impuestos sobre los combustibles convencionales, lo que incita a utilizar otros combustibles y a reducir el uso de energía.

Las políticas elaboradas a nivel local, para abarcar eficientemente toda la gama de prioridades económicas, sociales y ambientales locales, pueden figurar entre los elementos más importantes de una estrategia a largo plazo para la mitigación de GEI en el sector del transporte (SIE II, 21.4.2). Las medidas comprenden control del tráfico informatizado; restricciones y tasas de aparcamiento; establecimiento de peajes, tasas de circulación, restricciones al acceso de vehículos; modificación del trazado de las carreteras para reducir la velocidad del tráfico, y mejores medios y prioridad en el tráfico de peatones, ciclistas y transporte público.

El desarrollo de infraestructura es muy oneroso, y probablemente ese costo se realice por una amplia serie de razones económicas, sociales, ambientales y de otro tipo. Puede haber obstáculos institucionales a la integración de objetivos de mitigación de GEI en los procesos de adopción de decisiones, pero si se hace se pueden obtener diversos beneficios, que conduzcan tal vez a menores costos si se concede mayor prioridad que antes al transporte no motorizado con respecto al motorizado. El diseño de las ciudades para el transporte no motorizado y público puede reportar beneficios económicos a largo plazo, pues el mejor entorno humano estimula las actividades comerciales locales (SIE II, 21.4.2).

Algunos de los ejemplos más conocidos de estrategias que han tenido éxito en la reducción del tráfico y sus efectos para el medio ambiente, incluidas las emisiones de GEI, son las aplicadas por la ciudad-estado de Singapur, la ciudad de Curitiba en Brasil, y varias ciudades europeas (SIE II, 21.4.6). Esas ciudades ilustran la importancia de la iniciativa local y de la planificación integrada y los métodos basados en el mercado para elaborar una combinación de medidas apropiadas.

Las estrategias de transporte local para reducir el tráfico y mejorar el acceso no motorizado pueden reportar numerosos beneficios ambientales y sociales (SIE II, 21.4.6), aunque esas estrategias pueden suponer también pérdidas de comodidad para algunos usuarios del transporte.

Cuadro 5: Ejemplos seleccionados de medidas para mitigar las emisiones de GEI procedentes de vehículos ligeros^a.

Opciones técnicas	Medidas	Efectos climáticos y otros efectos ambientales	Efectos económicos y sociales	Consideraciones administrativas, institucionales y políticas
Reducir la intensidad energética de los vehículos – Modificación del diseño del motor – Modificaciones en el diseño de la cámara de combustión del motor – Modificaciones en la mezcla combustible/aire – Tecnología informática para mejorar la gestión del vehículo y del motor – Estímulo para reducir el tamaño de los vehículos (menos peso y potencia) [efectos estimados basados en SIE II, 21.4.3; SIE II, 21.4.5.1; CNI, 1992; DeCicco y Ross, 1993; OTA, 1991; ETSU, 1994 Goodwin, 1992]	Instrumentos basados en el mercado – Rebajas de tasas. Nuevos impuestos sobre el automóvil, aumento a 400 \$ por cada L/100 km (sin variación en el impuesto medio)	Beneficios para el clima en 2020 – 10–20% de CO ₂ de VL en todos los escenarios Otros efectos – Hasta 6% de aumento del tráfico y sus efectos sobre el medio ambiente a menos que se reduzca con otras medidas	Rentabilidad – Aumento medio del costo de nuevos autos de 1–9% compensado con economías de combustible Cuestiones macroeconómicas – Con los costos de aplicación pueden disminuir las ventas de autos a corto plazo – Como con rebajas de tasas, pero el impulso económico probablemente sea menor Cuestiones de equidad – Por lo que respecta a los consumidores, positivos para los propietarios de pequeños autos, y negativos para lo no propietarios y los propietarios de autos grandes – Se puede modificar la competitividad de la industria de fabricación, pero debe hacerse en forma económicamente eficiente	Factores administrativos/institucionales – Costos de administración moderados para los gobiernos – Menor pericia requerida para los gobiernos que en el caso de las normas Factores políticos – Oposición de los fabricantes de vehículos – Preocupación por los efectos de la seguridad
	Instrumentos reglamentarios – Normas para la economía de energía o acuerdos voluntarios: reducción del 30% en la intensidad energética VL nuevos en 2010, con relación a los niveles de 1995; la reducción con relación a la tendencia depende del escenario	Beneficios para el clima en 2020 – 3–5% de CO ₂ de VL con relación a BAJO – 22–28% de CO ₂ de VL con relación a ALTO Otros efectos – 3–10% de aumento del tráfico con efectos sobre el medio ambiente local en ALTO, a menos que se reduzca con otras medidas	Rentabilidad – Aumento medio del costo de nuevos autos de <05% en BAJO y 5–15% en ALTO con compensación en econ. de combustible – Es posible que aumenten los costos a corto plazo para la industria del auto, pero se reduce el costo del ciclo vital del uso del auto Cuestiones macroeconómicas – Con la reducción de las importaciones de petróleo y del costo de funcionamiento del auto pueden aumentar las ventas y el tráfico a largo plazo e impulsarse por tanto la economía Cuestiones de equidad – Los mismos efectos para los consumidores que con las rebajas de tasas – Pueden afectar a la competitividad de la industria en forma económicamente ineficiente.	Factores administrativos/institucionales – El gobierno requiere pericia para determinar las normas – Costos de administración moderados para los gobiernos Factores políticos – Oposición de los fabricantes de vehículos – Preocupación por los efectos de la seguridad

Cuadro 5 (continuación)

Opciones técnicas	Medidas	Efectos climáticos y otros efectos ambientales	Efectos económicos y sociales	Consideraciones administrativas, institucionales y políticas
Reducir la intensidad energética de los vehículos (véase anteriormente); reducir la velocidad o mejorar la gestión de la velocidad; mejorar la gestión del parque para aumentar el factor de carga de los vehículos; pasar al transporte público y no motorizado; pasar a fuentes de energía alternativas (véase más abajo) [SIE II, 21.4.5; Goodwin, 1992]	Instrumentos basados en el mercado – impuestos sobre los combustibles: determinados localmente para incluir costos sociales y ambientales en el precio del combustible • 0.2–0.5\$/L donde los impuestos son ya altos • \$0.3–0.8\$/L donde los impuestos son actualmente bajos	Beneficios para el clima en 2020 – 10–25%^b de CO₂ de VL en países donde los impuestos son ya altos – 40–60%^b de CO₂ de VL en países donde los impuestos son muy bajos Otros efectos – la mitad o más de los efectos de GEI se logra reduciendo el tráfico, con beneficios proporcionales para el medio ambiente	Rentabilidad – Costos más altos para los usuarios de la carretera Cuestiones macroeconómicas – Reducción de las ventas de automóviles; los efectos más amplios dependen del uso de los ingresos [SIE III, 11.3.2] Cuestiones de equidad – Según algunos estudios, los impuestos sobre la gasolina serán regresivos en América del Norte y progresivos en Europa occidental [SIE III, 11.5.6]	Factores administrativos/institucionales – Dificultad para evaluar el costo social y ambiental – Fuente de ingresos para los gobiernos, con un costo de administración adicional insignificante Factores políticos – Oposición de productores y suministradores de combustibles – Oposición de las organizaciones de motoristas y otros grupos con intereses especiales
Pasar a fuentes alternativas de energía – diésel, GNG, GPL como alternativas a la gasolina – combustibles sintéticos de fuentes de biomasa – hidrógeno o electricidad de fuentes de energía renovables – trenes de arrastre de vehículos híbridos [SIE II, 21.3.3.1; OIE, 1993]	Instrumentos económicos – Incentivos fiscales o subvenciones por el uso de combustibles alternativos y vehículos eléctricos Instrumentos reglamentarios – Prescripciones sobre combustibles alternativos/vehículos eléctricos	Beneficios para el clima en 2020 – 10–30% 0–30% cuando se utiliza GNC o GPL; potencial rentable hasta el 5% de todas las emisiones de VL – 80% o más con biocombustibles y VE que utilizan electricidad de fuentes renovables Otros efectos – Reducción de la contaminación del aire local con algunos combustibles alternativos, pero aumento con otros; posible incremento de los efectos para el medio ambiente de la agricultura intensiva en que se fomentan los biocombustibles	Rentabilidad – Costos financiados por el usuario inferiores a la gasolina en el caso de GPL, GNC y diésel, en algunas aplicaciones – Costos para el usuario más altos en el caso de biocombustible, VE e hidrógeno; los costos pueden ser muy altos (hasta 1000 \$ por tonelada de CO₂ evitadas) Cuestiones macroeconómicas – Con la sustitución de petróleo por combustibles producidos domésticamente se puede impulsar el empleo Cuestiones de equidad – Con el uso de la biomasa se puede aumentar el empleo rural	Factores administrativos/institucionales – Bajos costos de administración para el gobierno – Pueden requerir nuevas normas de seguridad y técnicas – La cooperación internacional es útil Factores políticos – La cooperación de los fabricantes de autos es importante – Apoyo de productores de combustibles alternativos, incluidos los agricultores en el caso de biocombustibles
Reducir la fuga refrigerante en el acondicionamiento de aire y otros circuitos de refrigeración [SIE II, 21.3.1.6]	Instrumentos reglamentarios – Normas sobre la fuga de refrigerante: por ejemplo, limitación de las fugas de HFC a 5% de la carga total anual	Beneficios para el clima en 2020 – Reducción de las emisiones de HFC en 70–80% (equivalente a 7–8% de las emisiones del ciclo vital de VL)	Rentabilidad – No evaluada	Factores administrativos/institucionales – La cooperación internacional es importante Factores políticos – Los fabricantes pueden oponerse a las normas

Cuadro 5 (continuación)

Opciones técnicas	Medidas	Efectos climáticos y otros efectos ambientales	Efectos económicos y sociales	Consideraciones administrativas, institucionales y políticas
Reducir las emisiones de los gases de escape sin CO₂ – Catalizador de bajo N ₂ O	IyD – Para eliminar la producción de N ₂ O en convertidores catalíticos	Beneficios para el clima – Equivalente al 10% aproximadamente de las emisiones de GEI de tubos de escape	Rentabilidad – No evaluada	Factores administrativos/institucionales – La cooperación internacional es importante
Reducir el uso de vehículos motorizados; reducir la intensidad energética del transporte (otros medios, modificación de la manera de conducir); uso de la tecnología de la información para mejorar la gestión de los vehículos, los parques y el tráfico; modificación de los sistemas de urbanización y transporte, incluida una mejor infraestructura del transporte no motorizado; telecomunicaciones (trabajo a domicilio, sistemas de realidad virtual, etc.) [SIE II, 21.4.6]	Transporte y planificación urbana/infraestructura – Iniciativas de transporte local: Definidas localmente; pueden comprender tasas e impuestos, reglamentaciones, planificación, prestación de servicios educación e información	Beneficios para el clima en 2020 – 10% o más de emisiones de VL a largo plazo, y quizá más donde la infraestructura se desarrolla rápidamente Otros efectos – Beneficios potenciales muy grandes	Rentabilidad – En general, las medidas se adoptan principalmente por razones distintas de la mitigación de GEI, por lo que esta mitigación tiene un costo bajo o negativo Cuestiones macroeconómicas – Positivos o negativos, según las circunstancias locales y la concepción de medidas Cuestiones de equidad – Positivos o negativos, según las circunstancias locales y la concepción de medidas	Factores administrativos/institucionales – Los procesos de adopción de decisiones locales son importantes – La cooperación entre diferentes niveles de gobierno y diferentes grupos con intereses en políticas es importante Factores políticos – Oposición de la industria de construcción de carreteras – Las empresas locales pueden oponerse a las restricciones de acceso
Todas las opciones [SIE II, 21.3.6, 21.3.1.5, 21.3.3.1]	IDyD e información	Beneficios para el clima – Mas de 20% de GEI de VL en 2020, pero pueden ser del 80% o más a largo plazo (2050+) Otros efectos – Beneficios potenciales muy grandes	Rentabilidad – Inherentemente impredecible, pero con posibles reducciones de las emisiones a un costo negativo Cuestiones macroeconómicas – Inherentemente impredecibles, pero beneficios potencialmente grandes Cuestiones de equidad – Impredecibles	Factores administrativos/institucionales – Necesidad de estimular iniciativas locales/independientes – La cooperación internacional es útil

^a Los efectos de GEI se calculan para 2020 en relación con dos escenarios: "BAJO" (rápida reducción de la intensidad de energía, lento crecimiento del tráfico) y "ALTO" (lenta reducción de la intensidad energética, rápido crecimiento del tráfico), en los que las emisiones corresponden aproximadamente a las que figuran en los escenarios IS92c e IS92e (véase el cuadro 4). Las gamas de costos y los efectos de las medidas reflejan diferencias entre las fuentes de publicaciones y las probabilidades de incertidumbre; los escenarios y las diferencias nacionales se mencionan explícitamente.

^b Sobre la base de una elasticidad del precio del combustible de -0,7. Goodwin (1992) sugiere una gama de -0,7 a -1,0, por lo que los efectos pueden ser mayores de lo que se indica aquí.

A la larga, los cambios en los hábitos de viaje y modo de vida, combinados con modificaciones urbanísticas, pueden representar sustanciales reducciones en los desplazamientos motorizados en ciudades norteamericanas y australianas. Las posibilidades de reducción en las ciudades de Europa occidental son menores (SIE II, 21.4.2). Algunas de las oportunidades más importantes a corto plazo para la planificación urbana que afectan al uso de la energía en el transporte al largo plazo se dan en países con economías en transición y que se desarrollan rápidamente, donde el automóvil sigue siendo un modo de transporte minoritario, pero cuya importancia aumenta con rapidez (SIE II, 21.4.2).

3.4.2 *Medidas que afectan a los vehículos y al tráfico de carga*

En el Cuadro 6 se resumen algunas efectos posibles de medidas para reducir las emisiones de GEI por vehículos pesados. Difieren de las medidas para los vehículos ligeros porque el diseño y la finalidad de los camiones varían más que en el caso de los automóviles, por lo cual es más difícil concebir normas de intensidad energética para ellos, si bien mediante disposiciones obligatorias sobre limitadores de velocidad y relaciones entre potencia y peso se puede reducir el uso de la energía (SIE II, 21.2.4.3). Los operadores de vehículos comerciales son relativamente sensibles a los precios del combustible, tanto en la gestión de los vehículos existentes como en su elección de nuevos vehículos. La combinación de impuestos sobre el combustible y acuerdos voluntarios, publicidad e incentivos (por ejemplo, derechos de licencia) para la adquisición de vehículos de elevado rendimiento energético puede bastar para estimular la aplicación de mejoras tecnológicas (SIE II, 21.2.4.3).

Según estudios realizados en algunos países, los VP se subvencionan más que los VL, si se considera la elevada parte de los costos de reparación de carreteras atribuible a los VP. Con medidas eficientes para repercutir esos costos en los operadores de vehículos de carga se pueden aumentar los costos del transporte por carretera en 10-30% (SIE II, 21.4.5) y lograr reducciones de 10-30% en el tráfico de carga y las emisiones de GEI asociadas (sobre la base elasticidades de precios, Oum y otros, 1990).

Con frecuencia se propugnan otras políticas, como la potenciación de instalaciones de modos combinados de transporte, para fomentar el uso del ferrocarril. La mejora de la infraestructura ferroviaria puede contribuir realmente a la mitigación de GEI, cuando se combina con normas para limitar el transporte por

carretera, y desincentivos como el peaje (SIE II, 21.4.3). El gran uso del ferrocarril es práctico sobre todo en recorridos largos, por lo que tales medidas serían sumamente eficaces en grandes países o coordinadas internacionalmente en regiones que abarcan numerosos países pequeños (SIE II, 21.2.4).

3.4.3 *Medidas que afectan a las aeronaves*¹⁰

En el Cuadro 7 se resumen los efectos de una serie de políticas para reducir las emisiones de GEI producidas por las aeronaves. Mediante normas sobre los motores de las aeronaves (SIE II, 21.3.1.6) y la financiación de IDyD es más posible políticamente conseguir grandes reducciones de las emisiones de NO_x, si bien el impacto radiativo de NO_x de las aeronaves dura poco y es muy incierto y puede haber compensaciones entre la reducción de NO_x y el consumo de combustible (SIE II, 21.3.1.6).

El Consejo de la Organización Internacional de Aviación Civil (OACI) recomienda que el combustible utilizado en la aviación internacional debe estar exento de impuestos (SIE II, 21.4.5.2), pero no excluye "tasas" con fines ambientales. Algunos aeropuertos perciben derechos de aterrizaje en relación con los niveles de ruido de los aviones, y las tasas ambientales pueden ampliarse para abarcar las emisiones de GEI de las aeronaves (por ejemplo, mediante una sobretasa del combustible). A fin de evitar que las líneas aéreas elijan aeropuertos para repostar combustible o como centros de larga distancia sobre la base de los precios del combustible sería necesaria la cooperación internacional, al menos a nivel regional.

A la larga, las reducciones sustanciales de emisiones de CO₂ y NO_x producidas por las aeronaves pueden depender de IDyD, además de incentivos al mercado para elaborar e introducir tecnologías y prácticas de menor intensidad energética (SIE II, 21.3.1.3) y combustibles basados en fuentes renovables (SIE II, 21.3.3.3). Para introducir esas tecnologías se tropieza actualmente con importantes obstáculos institucionales y técnicos, incluidas las preocupaciones por la seguridad.

¹⁰ En cooperación con la OACI y de conformidad con el proceso internacional de evaluación del ozono en el marco del Protocolo de Montreal, el IPCC ha acordado realizar una estimación de los efectos para la atmósfera global de las emisiones de las aeronaves, incluida la evaluación de tecnologías y medidas para reducir las emisiones, estimación de que se dispondrá en 1998.

Cuadro 6: Ejemplos seleccionados de medidas para mitigar las emisiones de GEI de vehículos pesados

Opciones técnicas	Medidas	Efectos climáticos y otros efectos ambientales	Efectos económicos y sociales	Consideraciones administrativas, institucionales y políticas
Reducir la intensidad energética de los vehículos (véase el Cuadro 4); reducir la velocidad o mejorar la gestión de la velocidad; mejorar la gestión del parque para aumentar el factor de carga de los vehículos; pasar al transporte público y no motorizado; pasar a fuentes alternativas de energía (véase más abajo) [SIE II, 21.4.5; Oum y otros, 1990]	Instrumentos basados en el mercado – Aumento del impuesto sobre el diésel: determinado localmente para incluir costos sociales y ambientales en el precio del combustible – Aumento de 50% a 200% del precio del combustible	Beneficios para el clima – Reducción de 10-40% en las emisiones de VP^a Otros efectos – Reducción del tráfico y de los impactos ambientales asociados	Rentabilidad – Aumento del costo para los operadores de vehículos justificado por costos sociales/ambientales Cuestiones macroeconómicas – Los efectos económicos más amplios dependen del uso de los ingresos [SIE III, 11.3.2] Cuestiones de equidad – Efectos de la competitividad internacional en la industria de transporte y en otras	Factores administrativos/institucionales – Importante fuente de ingresos para los gobiernos, con costos de administración adicionales insignificantes – La coordinación internacional puede ser útil Factores políticos – Probablemente se oponga la industria del transporte
Reducir la intensidad energética de los vehículos (véase el Cuadro 4) [SIE II, 21.3.1.5]	Instrumentos económicos – Incentivos para reducir la intensidad energética mediante impuestos sobre los vehículos, derechos de licencia, depreciación acelerada, etc. Acuerdos voluntarios – Con operadores de parques y fabricantes de vehículos para reducir la intensidad energética	Beneficios para el clima – Hasta el 10% de las emisiones de VP Otros efectos – Posible reducción de las emisiones de NO_x y partículas – Con la reducción de los costos de funcionamiento pueden aumentar el tráfico y otros efectos ambientales	Rentabilidad – El aumento del costo de los vehículos puede compensarse con economías en el combustible en tres años Cuestiones macroeconómicas – Los menores costos del transporte probablemente impulsen la economía	Factores administrativos/institucionales – Hace falta un elevado nivel de pericia del gobierno y contactos para lograr acuerdos con fabricantes y usuarios Factores políticos – La industria del transporte puede oponerse a la modificación de los impuestos
Cambio a fuentes alternativas de energía – Combustibles sintéticos de fuentes de biomasa – Hidrógeno o electricidad de fuentes de energía renovables – Trenes de arrastre de vehículos híbridos [SIE II, 21.3.3.2; OIE, 1993, 1994; CCE, 1992]	Instrumentos basados en el mercado – Combustible alternativo/subvenciones a VE e incentivos fiscales	Beneficios para el clima – Reducción de más del 80% en las emisiones por tonelada-km con algunos biocombustibles; normalmente 50% con el "biodiésel" – El efecto global depende de la disponibilidad de recursos y del costo Otros efectos – Reducción de la contaminación atmosférica local – Posible aumento de los efectos ambientales debido a la producción de biocombustibles	Rentabilidad – El costo de las subvenciones de los ingresos previstos de los impuestos puede ser muy alto (hasta 1000 \$ por tonelada de CO₂ evitada) pero puede justificarse por la política agrícola u otra – Costos administrativos bajos Cuestiones macroeconómicas – Con la sustitución de petróleo por combustibles producidos domésticamente se puede impulsar el empleo Cuestiones de equidad – Con el uso de la biomasa se puede aumentar el empleo rural	Factores administrativos/institucionales – Apoyo de productores de combustibles alternativos – Pueden requerirse nuevas normas de seguridad y técnicas – La cooperación internacional puede ser útil Factores políticos – Apoyo de productores de combustibles alternativos

Cuadro 6 (continuación)

Opciones técnicas	Medidas	Efectos climáticos y otros efectos ambientales	Efectos económicos y sociales	Consideraciones administrativas, institucionales y políticas
Reducir la intensidad energética del transporte (gestión de parques) y reducir el tráfico [SIE II, 21.3.2]	Planificación/infraestructura/información – Sistemas de gestión del transporte de carga (p. ej., GPS) – Sistemas de carga combinados con desincentivos por el uso de la carretera	Beneficios para el clima – Con el aumento de los factores de carga de los camiones se pueden reducir los GEI/tonelada-km en 10-30% – Pasando al ferrocarril se puede reducir el uso de la energía en 80%, pero sólo en trayectos largos y a baja velocidad Otros efectos – La reducción del tráfico puede representar grandes beneficios ambientales	Rentabilidad – Costo justificado por beneficios ambientales sin GEI	Factores administrativos/institucionales – Los procesos de adopción de decisiones locales son importantes – La cooperación entre diferentes niveles de gobierno y diferentes intereses políticos es importante – La cooperación internacional es útil Factores políticos – Probable oposición de la industria de construcción de carreteras
Todo tipo de medidas técnicas [SIE II, 21.3.6, 21.3.1.5, 21.3.3.2]	IDyD e información	Beneficios para el clima – Más del 10% de GEI de VP para 2020, pero puede llegar al 80% o más a largo plazo (2050+), con grandes beneficios ambientales	Rentabilidad – Impredecible Cuestiones macroeconómicas – Impredecibles Cuestiones de equidad – Impredecibles	Factores administrativos/institucionales – Es preciso alentar iniciativas locales/independientes – La cooperación internacional es útil Factores políticos – Apoyo de la industria

^a Sobre la base de la elasticidad con respecto al precio del combustible de -0,2. Oun y otros (1990) dan una amplia gama de elasticidades del precio de la carga, según el producto, el tipo de recorrido y otros factores.

Cuadro 7: Ejemplos seleccionados de medidas para mitigar las emisiones de GEI de las aeronaves

Opciones técnicas	Medidas	Efectos climáticos y otros efectos ambientales	Efectos económicos y sociales	Consideraciones administrativas, institucionales y políticas
Reducir el tráfico; Reducir la intensidad energética (operación de diseño de las aeronaves) – Mejor mantenimiento – Modificación del diseño de la célula – Modificación del diseño del motor – Mejor gestión de los vuelos – Mayor factor de carga de la aeronave	Instrumentos basados en el mercado – Impuestos sobre el combustible de las aeronaves: 10% sobre el precio del combustible (impuesto 2¢/L) [SIE II, 21.4.5.2]	Beneficios para el clima – Reducción del tráfico en el 1% a corto plazo – Mayor reducción porcentual a largo plazo en los GEI de las aeronaves	Cuestiones macroeconómicas – Dependen del uso de los ingresos	Factores administrativos/institucionales – Necesidad de acuerdo regional o internacional Factores políticos – Oposición de las líneas aéreas
Controlar las emisiones	Instrumentos reglamentarios – Normas sobre NO_x de los motores de las aeronaves [SIE II, 21.3.1.6, 21.4.1]	Beneficios para el clima – Posible reducción de 30-40% del factor de emisión de NO_x durante el crucero – El objetivo a más largo plazo puede ser una reducción del 80% Otros efectos – Reducción de NO_x en las proximidades de los aeropuertos – Posibilidad de mayores emisiones de partículas		Factores administrativos/institucionales – Pueden basarse en las normas internacionales existentes – Necesidad de un amplio acuerdo internacional Factores políticos – Los fabricantes de motores de aeronaves pueden oponerse a normas estrictas
Reducir la intensidad energética (operativas) – Reducción de demoras – Optimación de los planes de vuelo	Planificación/infraestructura – Mejor control del tránsito aéreo – Mejor gestión de la flota y de las rutas [SIE II 21.3.2; ETSU, 1994]	Beneficios para el clima – Reducción de 3–5% en las emisiones de GEI Otros efectos – Reducción del ruido y de la contaminación atmosférica	Rentabilidad – Beneficios económicos para la industria Cuestiones macroeconómicas – Elevados costos para el gobierno	Factores administrativos/institucionales – Necesidad de cooperación regional o internacional Factores políticos – Apoyo de las líneas aéreas
Reducir la intensidad energética y el tráfico, y pasar a combustibles alternativos	IDyD e información [SIE II, 21.3.1.3, 21.3.1.5, 21.3.6, 21.3.3.3, 21.3.1.6]	Beneficios para el clima – 10% para 2020, pero puede llegar al 80% de la mitigación de GEI a largo plazo (2050+) Otros efectos – Impredecibles	Rentabilidad – Impredecible Cuestiones macroeconómicas – Impredecibles Cuestiones de equidad – Impredecibles	Factores administrativos/institucionales – La cooperación internacional es útil Factores políticos – Apoyo de líneas aéreas y fabricantes de aeronaves

4. SECTOR INDUSTRIAL¹¹

4.1 Introducción

En 1990, el sector industrial global¹² consumía directamente, según las estimaciones, 91 EJ de energía de uso final (incluida la biomasa) para producir $6,7 \times 10^{12}$ \$ de valor económico añadido, lo que dio como resultado unas emisiones del orden de 1,80 Gt C. Cuando se agregan los usos de electricidad, la energía primaria atribuible al sector industrial era de 161 EJ y 2,8 Gt C, o sea, 47% de las liberaciones globales de CO₂ (SIE II, 20.1; Cuadros A1-A4). Además de las emisiones de GEI relacionadas con la energía, el sector industrial produce varias emisiones de GEI relacionadas con los procesos, si bien la fiabilidad de las estimaciones varía. Los gases industriales relacionados con los procesos comprenden los siguientes (SIE II, 20.2.2).

- CO₂ de la producción de cal viva y cemento (proceso de calcinación), acero (producción de coque y lingotes de hierro), aluminio (oxidación de electrodos), hidrógeno (refinerías y la industria química) y amoníaco (fertilizantes y productos químicos).
- CFC, HFC e hidroclorofluorocarbonos (HCFC) producidos como disolventes, propulsores de aerosoles, refrigerantes y dispersores de espuma.
- CH₄ de diversos procesos industriales (hierro y acero, refinado de petróleo, amoníaco e hidrógeno).
- N₂O de la producción de ácido nítrico y ácido adípico (naillon); hidrocarburos perfluorados (PFC), como tetrafluoruro de carbono (CF₄) y hexafluoroetileno (C₂F₆) resultantes de la producción de aluminio (electrólisis), y utilizados en procesos de fabricación en la industria de semiconductores; y hexafluoruro de azufre (SF₆) resultante de la producción de magnesio.

El sector industrial representa normalmente el 25-30% del uso total de energía en los países de la OCDE del Anexo I. La parte industrial del uso total de energía en los países que no figuran en el Anexo I promedió 35-45%, pero llegó hasta el 60% en China, en 1988. En los países del Anexo I con economías en transición se han registrado disminuciones en el uso de la energía industrial, que no se espera recuperar hasta finales del decenio de 1990. Es evidente que los diversos países han seguido trayectorias de combustibles fósiles muy distintas para llegar a su situación económica actual. La variación de la parte de la energía industrial entre países no sólo refleja diferencias de intensidad energética sino también el más rápido crecimiento de los sectores industriales en los países que no figuran en el Anexo I, el cambio de las economías de países de la OCDE del Anexo I de la fabricación a los servicios, el mayor rendimiento energético en la fabricación, y la transferencia de algunas industrias de alto consumo energético de los países de la OCDE del Anexo I a países que no figuran en ese anexo (SIE II, 20.2.1).

En los cinco primeros años del decenio de 1990, las emisiones de carbono del sector industrial de la Unión Europea y de Estados Unidos seguían siendo inferiores a sus niveles máximos de 10-15 años antes, en tanto que las de Japón permanecían

relativamente constantes. Las emisiones de CO₂ del sector industrial de países que no figuran en el Anexo I sigue creciendo a medida que se extiende el sector, aunque la intensidad de energía disminuye en algunos países como China. Si las mejoras de intensidad continúan en países que no figuran en el Anexo I, y si la descarbonización del uso de energía sigue la tendencia de los países de la OCDE del Anexo I, las emisiones totales de GEI del mundo en desarrollo podrían crecer más lentamente de lo previsto en los escenarios IS92 del IPCC. En la Figura 2 se muestran las emisiones de CO₂ del sector industrial con relación al producto interior bruto (PIB) *per capita*, lo que indica que, en algunos países, las emisiones del sector industrial han disminuido o permanecen constantes, incluso con un sustancial crecimiento económico como resultado de mejoras de intensidad energética, descarbonización de energía, o cambios estructurales en la industria.

4.2 Tecnologías para reducir las emisiones de GEI en el sector industrial

En el futuro será técnicamente posible reducir las emisiones de CO₂ en un 25% en el sector industrial de los países de la OCDE del Anexo I si durante la rotación natural del capital se adoptan tecnologías comparables a las instalaciones de fabricación eficiente de la generación actual (SIE II, RRP 4.1.1). En los países del Anexo I con economías en transición, las opciones industriales para la reducción de GEI están íntimamente vinculadas con las opciones de reactivación económica y la forma que revestirá la reestructuración industrial.

4.2.1 Introducción de nuevas tecnologías y nuevos procesos

Si bien la eficiencia de los procesos industriales ha aumentado considerablemente en los dos últimos decenios, las mejoras de rendimiento energético siguen constituyendo la mejor manera de reducir las emisiones de CO₂. Quienes disponen de más posibilidades son los países del Anexo I con economías en transición y los países que no figuran en el Anexo I, donde la intensidad energética industrial (bien como EJ/tonelada de producto o EJ/de valor económico) es normalmente de dos a cuatro veces mayor que en los países de la OCDE del Anexo I. Incluso así, sigue habiendo muchas posibilidades de obtener más beneficios. Por ejemplo, los procesos industriales más eficientes utilizan ahora el triple o el cuádruplo de la energía termodinámica necesaria para los procesos de la industria química y de metales de primera fusión (SIE II, 20.3). Los mayores aumentos de eficiencia en los países de la OCDE del Anexo I se han conseguido en los productos químicos, el acero, el aluminio, el papel y el refinado de petróleo, lo que indica que debe

¹¹ Esta sección se basa en el SIE II, Capítulo 20, *Industry* (autores principales T. Kashiwagi, J. Bruggink, P.-N. Giraud, P. Khanna y W. Moomaw).

¹² En los escenarios IS92, y por tanto en este documento, el sector industrial global comprende las actividades industriales relacionadas con la fabricación, la agricultura, la minería y la silvicultura.

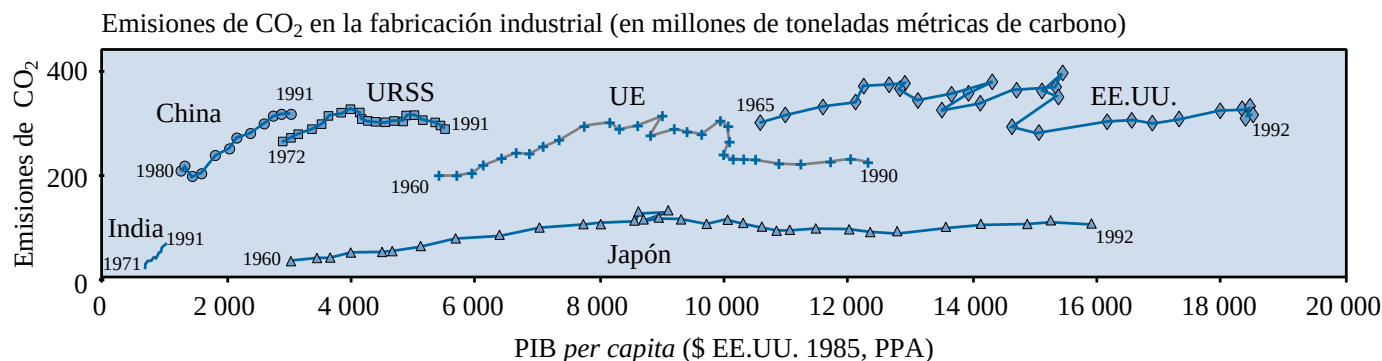


Figura 2: Trayectoria de la evolución de las emisiones de CO₂ de combustibles fósiles en los sectores de fabricación industrial de Estados Unidos de América, las 15 naciones que componen ahora la Unión Europea (excepto la ex Alemania del Este), Japón, China, India, y la ex Unión Soviética (URSS). El sector industrial es el definido por la OCDE, mas CO₂ asociados con refinerías y la parte de la electricidad utilizada en la industria (SIE II 20.2.3), figura 20-1). El sector de fabricación es un subsector de todas las actividades industriales descritas en este documento.

ser relativamente fácil lograr mejoras incluso superiores en esa industria en los países que no figuran en el Anexo I y con economías en transición.

4.2.2 Utilización de otros combustibles

Utilizando combustibles industriales menos intensivos en carbono, como el gas natural, se pueden reducir las emisiones de GEI en forma rentable, y esos cambios se están realizando ya en muchas regiones. Ahora bien, hay que tener la seguridad de que las mayores emisiones debidas a escapes de gas natural no compensan esos beneficios. El uso eficiente de biomasa en sistemas de cogeneración de turbinas de vapor y de gas también puede contribuir a reducir las emisiones, como se ha demostrado en las industrias de la pulpa y el papel, los productos forestales y algunas industrias agrícolas (como la caña de azúcar) (SIE II, 20.4).

4.2.3 Cogeneración y cascada térmica

Con una mayor cogeneración industrial, y mediante la cascada térmica de calor sobrante, hay grandes posibilidades de reducir los GEI de los combustibles fósiles y los biocombustibles. En muchos casos, la combinación de calor y energía o la cascada térmica es económicamente rentable, como ha quedado demostrado en varios países del Anexo I. Por ejemplo, la industria que utiliza mucho carbón puede reducir sus emisiones de CO₂ a la mitad, sin cambiar de combustibles, mediante cogeneración. La cascada térmica, que comprende la captura y reutilización secuencial de calor a menos temperatura para fines apropiados, requiere un enfoque ecológico industrial en el que se vinculen varios procesos industriales y las necesidades de acondicionamiento de espacio y agua, y para lograr los máximos beneficios puede ser necesaria la cooperación entre compañías y la inversión conjunta de capital (SIE II, 20.4).

4.2.4 Mejoras en los procesos

Las materias primas industriales representan aproximadamente el 16% de la energía del sector industrial, la mayor parte de la

cual termina como CO₂. Con la sustitución del gas natural como fuente de hidrógeno industrial por hidrógeno de biomasa o por electrólisis de agua utilizando fuentes de energía exentas de carbono se reducirían las emisiones de carbono en la fabricación de amoníaco y de otros productos químicos y, si fuera suficientemente económico, se podría sustituir en última instancia el carbón de coque en la producción de hierro. Es preciso coordinar las actividades con el fin de producir hidrógeno barato para materias primas con las destinadas a producir hidrógeno como combustible para el transporte (SIE II, 20.4; SIE III, 9.4).

Todos los GEI relacionados con los procesos pueden reducirse mucho, e incluso eliminarse totalmente, mediante alteraciones en los procesos industriales. Con programas voluntarios, en Estados Unidos y en Alemania se han logrado reducciones rentables del 50% en las emisiones de hidrocarburos perfluorados resultantes de la producción de aluminio y más de un 90% de NO_x de la producción de nailon (SIE II, 20.3).

4.2.5 Sustitución de materiales

Sustituyendo materiales asociados a elevadas emisiones de GEI con alternativas que cumplan la misma función se pueden obtener considerables beneficios. Por ejemplo, el cemento produce 0,34 tC por tonelada de cemento (60% de la energía utilizada en la producción y 40% como gas par usos industriales). Con el paso del carbón al gas natural o al petróleo se reducirían las emisiones de CO₂ relacionadas con la energía en la producción de cemento, y se podrían lograr reducciones adicionales de CO₂ mediante otras técnicas (por ejemplo, la sustitución de cenizas volátiles y el uso de combustibles sobrantes). Pasando a otros materiales de construcción se podrían lograr incluso mayores mejoras. Un piso de hormigón contiene 21 veces la energía de un piso comparable de madera, y genera también emisiones de CO₂ en el proceso de calcinación. Los materiales más densos podrían emitir asimismo más GEI cuando se transportan. Merced a la utilización de plantas como fuente de materias primas químicas se pueden reducir igual-

mente las emisiones de CO₂. Muchas grandes compañías madereras producen ya sustancias químicas además de su producción primaria de madera o pulpa y papel. En la India se ha emprendido un importante esfuerzo para establecer una base de materias primas “fitoquímicas”. Los envases ligeros, por ejemplo, causan menos emisiones relacionadas con el transporte que los materiales más pesados. Sin embargo, no siempre es fácil sustituir materiales, pues depende de conseguir sucedáneos con las calidades necesarias para cumplir especificaciones estrictas (SIE II, 20.3.4).

4.2.6 *Reciclado de materiales*

Cuando los productos se componen de materiales cuya fabricación consume una considerable cantidad de energía, el reciclado y la reutilización de esos productos pueden no sólo economizar energía sino reducir las emisiones de GEI en la atmósfera. Las materias primas liberan aproximadamente cuatro veces de CO₂ de materiales secundarios (reciclados) en la producción de acero, cobre, vidrio y papel. En cuanto al aluminio, esta cifra es mucho mayor. Las economías de carbono se estiman en 29 Mt aumentando en un 10% más el reciclado de esos materiales en los países de la OCDE. En las operaciones de reciclado se puede restablecer el material a su uso original o “degradar” sucesivamente el material y usarlo en aplicaciones que requieren materiales de menor calidad. Es preciso insistir en la innovación tecnológica para mejorar la calidad de los materiales reciclados (SIE II 20.4.2.4).

4.3 *Medidas para reducir las emisiones de GEI en el sector industrial*

Aplicando diversas medidas potenciales propias del sector, analizadas brevemente a continuación y en el Cuadro 8, se pueden estimular mejoras en la eficiencia energética y reducciones de las emisiones relacionadas con los usos industriales (SIE II, 20.5; SEI III 11). Además, los instrumentos económicos (por ejemplo, reducción gradual de la subvenciones a la energía y adopción de impuestos sobre el carbono) pueden influir en las emisiones en el sector, estimulando procesos menos intensivos en energía o en combustibles fósiles. Dichos instrumentos económicos no se tratan aquí, porque se analizan en la Sección 9, Instrumentos económicos.

4.3.1 *Programas basados en el mercado*

4.3.1.1 *Incentivos*

Pueden concebirse incentivos fiscales para empresas de países de la OCDE del Anexo I, a fin de estimular la continua innovación en procesos de elevado rendimiento energético y bajas emisiones de GEI. La mayoría de los procesos industriales tienen una vida útil relativamente corta, del orden de un decenio o menos, en tanto que las instalaciones se utilizan durante varios decenios. De ahí que haya muchas oportunidades para introducir rápidamente en los procesos de fabricación tecnología de bajas emisiones como parte de la rotación normal de capital. En tales circunstancias, cuando los GEI tengan externalidades

sin costos, no hay razones imperiosas, aparte de la maximización de beneficios, para que las compañías opten por una estrategia de menos emisiones de GEI en lugar de una de mayores emisiones, al planificar nuevos procesos y productos. Incluso cuando es rentable introducir tecnologías de bajas emisiones de GEI, puede haber obstáculos para hacerlo. Por eso, se necesitan incentivos adicionales a fin de alentar a las compañías de países de la OCDE del Anexo I a que utilicen el ciclo natural de sustitución de capital para introducir tecnología con menos emisiones de GEI en instalaciones de producción con objeto de lograr reducciones aún mayores. Tal vez esto pudiera hacerse mediante impuestos para acelerar la amortización.

Además, mediante incentivos financieros para incitar a la industria a adoptar instalaciones combinadas de calor y energía, utilizar más fuentes renovables, o más materiales secundarios, se podría acelerar la reducción de las emisiones. Incluso sin incentivos, sería eficaz suprimir los impedimentos a la cogeneración industrial de electricidad y calor.

4.3.1.2 *Programas de compras del sector público*

Los gobiernos pueden establecer requisitos para la compra de productos mediante los que se reduzcan al mínimo las emisiones de GEI en su fabricación y su utilización. Si son flexibles, los criterios para las compras del sector público incitarían a los proveedores a desarrollar productos con bajas emisiones de GEI que puedan responder a las necesidades del sector público y del mercado en general.

4.3.2 *Programas reglamentarios*

4.3.2.1 *Normas sobre las emisiones y compensaciones*

Mediante el establecimiento de normas sobre las emisiones de GEI peculiares de la industria y del producto, como las normas para el uso eficiente de la energía en aparatos eléctricos o vehículos, se podría aumentar la conformidad. Las normas sobre eficiencia o rendimiento pueden ayudar a superar diversos obstáculos y a utilizar en la producción prácticas industriales que emitan menos GEI. Esos obstáculos pueden comprender la falta de información sobre los productos de elevado rendimiento, análisis financieros o criterios de inversión en los que se insiste más en los costos de inversión y menos en los de funcionamiento, o la dificultad de obtener productos de mayor rendimiento de los proveedores. Sin embargo, puede ser difícil alcanzar acuerdos sobre las normas apropiadas para diferentes tipos de equipo en distintas aplicaciones, en tanto que los costos de verificación y aplicación pueden ser altos y suponer un aumento del precio para los consumidores. Además, la aplicación de reglamentaciones podría contrarrestar la reciente insistencia en el uso de métodos flexibles.

Un gobierno puede estimular la fabricación de productos más eficientes permitiendo que las compañías reciban algún resarcimiento por reducir las emisiones durante el uso del producto como compensación de las normas sobre las emisiones en la fabricación. Muchos productos manufacturados, como

Cuadro 8: Ejemplos seleccionados de medidas para mitigar las emisiones de GEI en el sector industrial.

Opciones técnicas	Medidas	Efectos climáticos y otros efectos ambientales ^a	Efectos económicos y sociales	Consideraciones administrativas, institucionales y políticas
Nuevas tecnologías y nuevos procesos - Reducción de hidrógeno de minerales óxidos metálicos - Producción de hidrógeno y amoníaco exentos de carbono - Electrodos no reactivos para la producción de aluminio - Producción de aluminio sin flúor	IDyD - Desarrollo de tecnología de producción de hidrógeno exenta de carbono y poco costosa - Elaboración de electrodos - Desarrollo de procesos de producción	Beneficios para el clima - Economías de 4% de CO₂/año para 2050 Otros efectos - Reducción de la contaminación atmosférica debida al coque	Rentabilidad - Costos elevados a corto plazo Cuestiones macroeconómicas - Transformación de materias primas industriales a base de carbón	Factores administrativos/institucionales - Modestos en la fase de investigación - Laboratorios gubernamentales, universitarios e industriales Factores políticos - Obtención de fondos del gobierno
Beneficios de rendimiento energético - Luces, motores y bombas más eficientes - Mejor captación de calor - Cascada térmica (es decir, adaptación del calor sobrante a menor temperatura a la tarea adecuada)	Mecanismos del mercado - Incentivos fiscales para uso eficiente de la energía, cambio de combustibles y menores liberaciones de GEI - Supresión gradual de subvenciones para productos y combustibles que liberan GEI - Impuestos sobre las emisiones de GEI - Programas de compras del sector público - Permisos negociables: nacionales e internacionales Iniciativas internacionales - Actividades aplicadas conjuntamente entre países del Anexo I - Incentivos de préstamos multilaterales - Intercambio y transferencia de tecnología	Beneficios para el clima - Economías de 25% de CO₂/año en el sector industrial de países del Anexo I - Mayores ahorros en las economías de países en desarrollo y de Europa oriental Otros efectos - Reducción de la contaminación atmosférica Beneficios para el clima - Reducciones de CO₂ en Europa oriental (ARC), y en países en desarrollo mediante préstamos y transferencia de tecnología Otros efectos - Menos contaminación atmosférica en Europa oriental y países en desarrollo	Rentabilidad - Alta Cuestiones macroeconómicas - Reestructuración del sistema fiscal para reducir los impuestos sobre la renta y el capital Cuestiones de equidad - Medios de proporcionar tecnología a países en desarrollo y de Europa oriental - Para aumentar los precios de consumo tal vez haya que compensar a los consumidores de bajos ingresos	Factores administrativos/institucionales - Algún esfuerzo del gobierno para modificar los códigos tributarios - Importante esfuerzo de la industria - Alguna coordinación gubernamental de sistemas de calefacción urbana Factores políticos - Posible oposición de las industrias de suministro de energía Factores administrativos/institucionales - Mantenimiento de registros complejo de ARC - Las instituciones actuales son inadecuadas Factores políticos - Necesidad de garantizar que el país de acogida controla los sumideros
Cambio de combustible - A gas natural - A biomasa (especialmente para productos forestales, papel y agrícolas) - A renovables (secado por energía solar) - A sustitución de electricidad cuando reduce las emisiones de GEI	Medidas reglamentarias - Normas sobre emisiones de GEI - Compensaciones y créditos por emisiones en la fabricación/uso de productos - Supresión de obstáculos reglamentarios, comerciales y resultantes de tratados	Beneficios para el clima - Economías de 20% de CO₂/año para 2020 en el sector industrial Otros efectos - Reducción de la contaminación atmosférica	Rentabilidad - Alta Cuestiones macroeconómicas - Aceleración del cambio de los costos de internalización de todos los combustibles Cuestiones de equidad - Equilibrio entre cultivos de alimentos y de combustibles	Factores administrativos/institucionales - Modestos; el principal esfuerzo procede de la industria Factores políticos - Oposición de productores de combustibles desplazados
Cogeneración - Combinación de calor y energía (nuevas instalaciones industriales, modernización de instalaciones antiguas) - Turbinas de gas, ciclo combinado - Células energéticas	Medidas reglamentarias Garantías al mercado en cuanto al calor y la energía generados por la industria	Beneficios para el clima - Economías de 15% de CO₂/año para 2020 en el sector industrial Otros efectos - Reducción de la contaminación atmosférica	Rentabilidad - Alta Cuestiones macroeconómicas - Alguna reestructuración industrial	Factores administrativos/institucionales - Modestos; el principal esfuerzo procede de la industria Factores políticos - Posible dificultad de empujar el sistema de calefacción urbana

Cuadro 8 (continuación)

Opciones técnicas	Medidas	Efectos climáticos y otros efectos ambientales ^a	Efectos económicos y sociales	Consideraciones administrativas, institucionales y políticas
Mejoras de procesos – Reducción N₂O en la producción de nailon – Reducción de CF₄ en la producción de aluminio – Eliminación de HCFC	Acuerdos voluntarios – Iniciativas conjuntas industria/gobierno Medidas reglamentarias – Requisitos de los tratados y de las leyes nacionales	Beneficios para el clima – Economías de 2-5% de equivalente de CO₂/año para 2010 Otros efectos – Protección de la capa de ozono reduciendo N₂O y HCFC	Rentabilidad – Alta	Factores administrativos/institucionales – Modestos; el principal esfuerzo procede de la industria Factores políticos – Generación de buena voluntad entre el gobierno, la industria y el público
Sustitución de materiales – Sustitución de metales por plástico – Sustitución de hormigón por madera o plástico – Reducción de CO₂ relacionado con el transporte si los materiales son más ligeros – Utilización de sustancias químicas producidas con materiales vegetales	Acuerdos voluntarios – Objetivos de reducción de GEI – Mejora de sumideros de GEI – Objetivos de eficiencia energética Mecanismos del mercado – Impuestos e incentivos – Compras del sector público Medidas reglamentarias – Contenido específico	Beneficios para el clima – No determinados Otros efectos – Reducción de la contaminación atmosférica	Rentabilidad – No determinada aún Cuestiones macroeconómicas – Desorganizaciones en las industrias existentes Cuestiones de equidad – Algunas desorganizaciones en el empleo	Factores administrativos/institucionales – Modestos; el principal esfuerzo procede de la industria Factores políticos – Objeción de la industria a la reglamentación
Reciclado/reutilización de materiales – Diseño de desmontaje – Diseño de materiales para reutilizarlos – Reducción escalonada de la calidad de los materiales	Mecanismos del mercado – Incentivos fiscales – Supresión de obstáculos al mercado Medidas reglamentarias – Recogida pública/privada de materiales utilizados – Contenido de reciclado específico	Beneficios para el clima – Economías de 29 Mt C/año por países de la OCDE con un aumento en el reciclado de 10% Otros efectos – Menos desechos sólidos y menor uso de recursos	Rentabilidad – Alta Cuestiones macroeconómicas – Menos uso de materias primas Cuestiones de equidad – Creación regional de empleo cerca del lugar en que se utiliza el producto	Factores administrativos/institucionales – Modestos; el principal esfuerzo procede de la industria Factores políticos – Intervención directa del público en la solución de problemas – Objeción de la industria a la reglamentación

^a En las reducciones estimadas se supone una estructura del sector de fabricación industrial de 1990. Las reducciones mediante diferentes opciones técnicas pueden no ser aditivas.

ordenadores, automóviles y bombillas, consumen mucha más energía y liberan más GEI durante su uso que en su fabricación. En el caso de los automóviles, la proporción puede ser mayor de 10 a 1.

4.3.3 Acuerdos voluntarios

Con los acuerdos voluntarios en Estados Unidos y en Europa se han logrado reducciones de energía y de GEI en las industrias, a las que se ha alentado fabricar o instalar alumbrado, ordenadores, equipo de oficina y almacenes de los edificios eficientes. Entre ellos figuran objetivos negociados pero voluntarios para reducir las emisiones, la adopción voluntaria de productos o procesos de elevado rendimiento energético, actividades mancomunadas de IDyD, y acuerdos para verificar las reducciones de las emisiones sobre la base de acciones voluntarias e informar al respecto. Los acuerdos voluntarios con grupos

industriales para mejorar la calidad general del medio ambiente pueden ampliarse para abarcar la reducción de GEI (por ejemplo, la expansión de pactos entre el gobierno y la industria sobre medio ambiente en Países Bajos), lo mismo que el proceso ISO 14000¹³. También pueden establecerse requisitos nacionales e internacionales para los proveedores en los que se especifique un bajo contenido de GEI. Esos acuerdos privados pueden inspirarse en especificaciones no relacionadas con CFC de muchas compañías electrónicas antes de la supresión gradual en 1995. El potencial de las reducciones de las emisiones ha sido estimado con razonable certidumbre por el Organismo de Protección del Medio Ambiente de Estados Unidos para los

¹³ ISO 14000 es un sistema de gestión del medio ambiente certificado por un organismo independiente, establecido por la Organización Internacional de Normalización (no gubernamental).

GEI relacionados con HFC y el aluminio y para los programas “Green Lights” y Energy Star. Las compañías participantes obtienen beneficios de relaciones públicas y otros beneficios económicos (como la posibilidad de fabricar y vender nuevos productos), que son esenciales para la promoción de acciones voluntarias de las compañías.

4.3.4 Investigación, desarrollo y demostración

La IDyD es necesaria a corto plazo para crear y comercializar nueva tecnología industrial y alcanzar futuros objetivos de las emisiones en el período comprendido entre 2020 y 2050. Por ejemplo, para que el hidrógeno se convierta en materia prima y combustible exento de carbono, es preciso comenzar a trabajar ya a fin de tener la seguridad de que en el futuro se dispondrá de la tecnología para producirlo, y de la infraestructura para proporcionarla, y de que será asequible. También habrá que evaluar sistemáticamente la eficacia de las políticas utilizadas ya en diferentes países o de las que se proponen, para determinar lo que estimulará las mayores reducciones de GEI al menor costo.

4.3.5 Iniciativas internacionales

4.3.5.1 Oportunidades especiales para países del Anexo I con economías en transición y países que no figuran en el Anexo I

El proceso de reindustrialización en países con economías en transición ofrece importantes oportunidades para sustituir industrias ineficientes con gran intensidad de carbono por procesos de fabricación eficientes con poco carbono. Gran parte de este cambio supondrá la reestructuración de esas economías, a medida que la industria pesada se sustituya por fabricación alternativa. Además, como la mayor parte del crecimiento del uso de energía industrial probablemente tenga lugar en los próximos decenios en los países que no figuran en el Anexo I, las mayores reducciones de la tasa de crecimiento de las futuras emisiones de GEI podrán lograrse introduciendo pronto en esas economías industriales emergentes nueva tecnología y nuevos procesos industriales.

Los permisos negociables y la aplicación conjunta¹⁴ pueden ser mecanismos útiles para lograr reducciones de GEI en el sector industrial proporcionando capital de inversión en tecnología de fabricación y de usos industriales de elevado rendimiento energético. Estas medidas se tratan con mayor detalle en la Sección 9.

Las compañías de países de la OCDE del Anexo I también tienen oportunidades de crear empresas mixtas para la reducción de GEI con compañías y gobiernos de países del Anexo I con economías en transición, así como con países que no figuran en el Anexo I.

4.3.5.2 Obstáculos a iniciativas internacionales

La transferencia de tecnología de capacidad industrial moderna a países del Anexo I y países del Anexo I con economías

en transición tropieza con el obstáculo de desacuerdos sobre derechos de propiedad intelectual y la falta de capital y de moneda fuerte. Otros obstáculos son la falta de capacidad y legislación básica sobre medio ambiente, y factores institucionales en los países beneficiarios. Actualmente hay impedimentos jurídicos y contractuales para llevar a cabo actividades en cooperación entre compañías con el fin de reducir los gases de efecto invernadero. Muchos países disponen de leyes antimonopolio para impedir la colusión de precios y el comportamiento monopolístico de las compañías. En la Organización Mundial del Comercio preocupa que la protección del medio ambiente acabe siendo una restricción potencial al libre intercambio. Es preciso examinar estas restricciones para lograr cómo las empresas pueden lograr beneficios para el medio ambiente, como reducciones de GEI, sin comprometer los objetivos de estas reglas. Como el sector privado cumple una importante función en lo relativo a las emisiones de GEI resultantes de la industria, será necesaria una mayor transparencia de esas actividades mediante mecanismos de información y verificación en los que intervengan terceras partes, como organizaciones no gubernamentales y organismos gubernamentales e internacionales.

4.4 Reducciones de las emisiones globales de carbono aplicando tecnologías y medidas en el sector industrial

Según indican los escenarios IS92 del IPCC, se prevé que la energía y el CO₂ totales del sector industrial en los países del Anexo I aumenten de unos 122 EJ y 2,1 Gt C en 1990 a 165 EJ (141-181 EJ) y 2,7 Gt C (2,1-3,1 Gt C) en 2010, y a 186 EJ (154-211 EJ) y 2,9 Gt C (2,1-3,5 Gt C) en 2020, hasta llegar a 196 EJ (140-242 EJ) y 2,6 Gt C (1,4-3,7 Gt C) en 2050. El crecimiento anual medio previsto del uso de la energía y de las emisiones se aproxima a 1% anual para el mundo en su conjunto, lo que indica la creciente importancia del sector industrial en los países que no figuran en el Anexo I.

Los países del Anexo I pueden reducir sus emisiones de CO₂ en el sector industrial en un 25% con relación a los niveles de 1990, sustituyendo simplemente las instalaciones y los procesos existentes por las opciones tecnológicas más eficientes utilizadas actualmente (suponiendo una estructura constante en el sector industrial). Esa sustitución favorable sería rentable si se realizara en el momento de la sustitución normal de capital. Esto parece situarse en el ámbito de la viabilidad tecnológica y económica (SIE II, RRP 4.1.1). Si bien es difícil estimar las reducciones potenciales de las emisiones en comparación con los escenarios IS92 para los países del Anexo I con economías en transición y los países que no figuran en el Anexo I, es probable que esas reducciones sean importantes debido a las instalaciones de alto consumo energético existentes y a la posibilidad de aplicar prácticas y tecnologías más eficientes a medida que aumenta el crecimiento en esas regiones.

¹⁴ En el Capítulo 11 del SIE III se utiliza el término “aplicación conjunta” en el sentido de “actividades realizadas conjuntamente”, y lo mismo se hace aquí.

5. SECTOR DE SUMINISTRO DE ENERGÍA¹⁵

5.1 Introducción

El sector de suministro de energía consta de una serie de procesos complicados y complejos para extraer recursos energéticos, convertirlos en formas más deseables y apropiadas de energía, y suministrar la energía a los lugares donde existe demanda. El consumo de energía global ha crecido por término medio a una tasa anual del orden de 2% en casi dos siglos, si bien el aumento de energía varía considerablemente en función del tiempo y de las regiones (SIE II, RRP 4.1). Si se mantienen las tendencias anteriores, es probable que las emisiones de GEI relacionadas con la energía crezcan más lentamente que el consumo de energía en general o las necesidades del sector de la energía en particular, debido a una tendencia gradual a la descarbonización del suministro de energía. En la gama de escenarios IS92 del IPCC, se prevé que las emisiones de CO₂ relacionadas con la energía aumenten de 6 Gt C en 1990 a 7-12 Gt C en 2020 y a 6-19 Gt C en 2050, de las que el sector de la energía representa 2,3-4,1 Gt C (1,4-2,9 Gt C en el Anexo I) para 2020, y 1,6-6,4 Gt C (1,0-3,1 Gt C en el Anexo I) para 2050, respectivamente.

Debido a la disponibilidad de reservas fósiles y recursos, así como de potenciales renovables, no es probable que haya dificultades para el suministro de energía a largo plazo (SIE II, B.3.3). La disponibilidad de uranio y torio tampoco debe representar un importante condicionamiento para el futuro desarrollo de la energía nuclear. También hay grandes posibilidades a largo plazo de recursos de energía renovables, aunque no se conocen con certidumbre los costos que representa la realización de una parte sustancial de esas posibilidades, que depende de numerosos factores: desde las actividades de IDyD y la pronta adopción de tecnología en pequeños mercados hasta ubicaciones geográficas apropiadas (SIE II, B.5.3.1). En el Cuadro 9 se resumen las reservas y los recursos globales de energía por lo que respecta a su contenido de energía y de carbono y a los potenciales de energías renovables (SIE II, B.3.3.1).

Las tecnologías de suministro de energía y las infraestructuras de la energía tienen largas vidas útiles propias en el aspecto económico, y para introducir cambios fundamentales en el sector del suministro de energía hacen falta decenios. Esto significa que se tardará bastante en aplicar medidas técnicas y políticas. Sin embargo, en un período de 50 a 100 años se habrá sustituido todo el sistema de suministro de energía al menos dos veces. Técnicamente es posible realizar profundas reducciones de las emisiones en el sector del suministro de energía en el momento normal de las inversiones para sustituir infraestructura y equipo a medida que se desgasta o queda anticuado (SIE II, RRP.4.1.3).

Los potenciales de mitigación de las distintas opciones señaladas en esta evaluación no son aditivos, porque algunas de ellas se excluyen mutuamente y pueden representar un doble cómputo. Por lo tanto, hace falta un método sistemático para evaluar los

impactos potenciales y la posibilidad de combinar diversas medidas y políticas de mitigación a nivel del sistema energético, garantizando al mismo tiempo un equilibrio regional y global entre la demanda y la oferta. Se han elaborado numerosos escenarios de futuros sistemas potenciales de energía con el fin de evaluar las posibilidades técnicas a largo plazo de combinar medidas a nivel de sistemas energéticos, a diferencia del nivel de las distintas tecnologías. Al hacerlo, se analizaron variantes de un sistema de suministro de energía con bajas emisiones de CO₂ (LESS) (SIE II, RRP.4.1.4). Las construcciones LESS son "experimentos meditados" en que se exploran numerosas combinaciones de posibilidades técnicas de reducir las emisiones globales de CO₂ a unos 4 Gt C para 2050 y a unos 2 Gt C para 2100 (Informe de Síntesis, SIE, 5.8). En la documentación técnica se apoya firmemente la viabilidad de lograr las características de rendimiento y, costo que se suponen para las tecnologías energéticas en las construcciones LESS, si bien subsistirán incertidumbres hasta que se haya realizado una mayor actividad de IDyD y se hayan experimentado las tecnologías en el mercado (SIE II, RRP.4.1.4; Informe de Síntesis, SIE, 5.9). En otro ejercicio del escenario realizado en 1993, el Consejo Mundial de la Energía presentó un escenario "fundamentado ecológicamente" en el que se obtenían reducciones similares de las emisiones (SIE II, 19.3.1.4). Esos ejercicios son especulativos, por su propia naturaleza, y comprenden hipótesis sobre las posibilidades de mitigación, los costos de las tecnologías a corto y a largo plazo, y sus plenas consecuencias socioeconómicas y ambientales. Para la elaboración y el análisis de otro escenario hay que establecer la coherencia interna de varias hipótesis en función del tiempo, incluidas posibles interacciones entre esas hipótesis como las que pueden relacionarse con la evolución de sistemas de uso de la energía, crecimiento económico, utilización de la tierra y población (IPCC 1994, II, RRP).

5.2 Tecnologías para reducir las emisiones de GEI en el sector de suministro de energía

Entre los métodos prometedores para reducir las emisiones en el futuro, no relacionados por orden de prioridad, figuran la conversión más eficiente de combustibles fósiles; el cambio a combustibles fósiles con poco carbono; la descarbonización de gases de escape y combustibles, y el almacenamiento de CO₂; el cambio a energía nuclear, y el cambio a fuentes de energía renovables (SIE II, RRP.4.1.3). Cada una de estas opciones tiene sus

¹⁵ Esta sección se basa fundamentalmente en SIE II, Capítulo 19, *Energy Supply Mitigation Options* (autores principales: H. Ishitani, T. Johansson, S. Al-Khouli, H. Audus, E. Bertel, E. Bravo, J. Edmonds, S. Frandsen, D. Hall, K. Heinloth, M. Jefferson, P. de Laquil III, J.R. Moreira, N. Nakicenovic, Y. Ogawa, R. Pachauri, A. Riedacker, H.-H. Rogner, K. Saviharju, B. Sorensen, G. Stevens, W.C. Turkenburg, R.H. Williams y F. Zhou); SIE II, Capítulo B, *Energy Primer* (autores principales: N. Nakicenovic, A. Grubler, H. Ishitani, T. Johansson, G. Marland, J.R. Moreira y H.-H. Rogner); y SIE III, Capítulo 11, *An Economic Assessment of Policy Instruments for Combatting Climate Change*. También se inspira en menor medida en los SIE II y III de los RRP.

Cuadro 9: Reservas y recursos globales de energía, su contenido en carbono, potenciales de energía para 2020-2025, y potencial técnico máximo^a.

	Consumo (1860–1990)		Consumo (1990)		Reservas identificadas/ Potenciales en 2020–2025		Base de recursos/ Potenciales máximos	
	EJ	Gt C	EJ	Gt C	EJ	Gt C	EJ	Gt C
Petróleo								
Convencional	3 343	61	128	2.3	6 000	110	8 500	156
No convencional	–	–	–	–	7 100	130	16 100	296
Gas								
Convencional	1 703	26	71	1.1	4 800	72	9 200	138
No convencional	–	–	–	–	6 900	103	26 900	403
Carbón	5 203	131	91	2.3	25 200	638	125 500	3 173
TOTAL FÓSILES	10 249	218	290	5.7	50 000	1 053	>186 200	4 166
Nuclear ^b	212	–	19	–	1 800	–	>14 200	–
					EJ/año		EJ/año	
Energía hidroeléctrica	560	–	21	–	35–55	–	>130	–
Geotérmica	–	–	<1	–	4	–	>20	–
Eólica	–	–	–	–	7–10	–	>130	–
Oceánica–	–	–	–	2	–	>20	–	–
Solar	–	–	–	–	16–22	–	>2 600	–
Biomasa	1 150	–	55	–	72–137	–	>1 300	–
TOTAL RENOVABLES	1 710	–	76	–	130–230	–	>4 200	–

^a Cuadro basado en SIE II, B.3.3.1, Cuadros B-3 y B-4.

^b Las reservas y recursos de uranio natural son efectivamente 60 veces mayores si se utilizan reactores regeneradores rápidos.

– = desdéniable o no aplicable.

propias características que determinan la rentabilidad, así como la aceptabilidad social y política. Tanto los costos como los efectos para el medio ambiente deben evaluarse sobre la base de análisis de ciclos vitales completos. En el Recuadro 3 se describe el potencial técnico para reducir las emisiones de CO₂ con tecnologías de mitigación seleccionadas.

5.2.1 Conversión más eficiente de combustibles fósiles

En general, con nuevas tecnologías se pueden lograr mayores eficiencias de conversión de combustibles fósiles. Por ejemplo, la eficiencia de la producción de energía puede aumentarse de la media mundial actual de 30% aproximadamente a más del 60% a largo plazo. Asimismo, la producción combinada de calor y energía cuando sea aplicable – con fines industriales o de calefacción y refrigeración – permite un considerable aumento en las eficiencias de utilización de combustible (SIE II, RRP 4.1.3.1). Con la integración de la conversión de energía de temperaturas muy altas a muy bajas (denominada a veces cascada energética) se pueden obtener las mejoras de rendimiento (SIE II, 20.4.2.3).

Si bien en los costos relacionados con esas mejoras de rendimiento influirán numerosos factores – como la tasa de sustitución de capital, el tipo de redescuento y el efecto de la investigación y el desarrollo –, hay tecnologías avanzadas rentables en comparación con algunas plantas y equipo existentes que

son menos eficientes o emiten mayores cantidades de GEI. Algunas opciones tecnológicas (por ejemplo, la generación de energía de ciclo combinado) pueden penetrar en el mercado actual. Para realizar otras opciones, los gobiernos habrían de tomar medidas combinadas que pueden abarcar la eliminación de subvenciones permanentes a la energía, la internalización de los costos externos, la financiación de tecnologías adicionales de IDyD para emisiones de CO₂ bajas o nulas, e incentivos temporales para la pronta introducción en el mercado de esas tecnologías a medida que se aproxima su comercialización (SIE II, Capítulo 19, Resumen Ejecutivo). Por lo tanto, si bien la eficiente de la producción de energía puede mejorar globalmente, esto puede suponer costos adicionales y no producirse sin las políticas apropiadas sobre GEI.

El potencial teórico de mejora de la eficiencia es muy grande, y los sistemas energéticos actuales se aproximan ahora a los niveles teóricos máximos (ideales) sugeridos por la segunda ley de termodinámica. Muchos estudios indican valores actuales bajos para la mayoría de los procesos de conversión basados en eficiencias de segunda ley (o exergía). Es indispensable superar mucha inercia incluso para poder lograr una fracción de este potencial, además de numerosos obstáculos, como comportamiento social, estructuras de equipamiento, costos, falta de información y de conocimientos técnicos, e incentivos de intervención insuficientes. En el caso de los combustibles fósiles, la magnitud de las posibilidades de mejo-

ra del rendimiento indica, con independencia de los costos, los sectores en que existen las mayores posibilidades de mitigación de las emisiones (SIE II, B.2.2).

En general, la introducción de nuevas series de tecnologías eficientes se rige por el proceso de retirada de capacidad natural del sistema energético y por las perspectivas de crecimiento de la demanda futura. A corto plazo, donde más puede aumentar la tasa de mejora de la eficiencia sobre la base de la rotación natural de capital es en países con rápido crecimiento económico (SIE II, 19.1). Por lo tanto, los países del Anexo I que están pasando a una economía de mercado y cuentan con sistemas de conversión de energía ineficientes son los que tienen mayores posibilidades de mejorar el rendimiento.

La eficiencia media global de la generación de energía mediante combustibles fósiles es del orden del 30%; y la eficiencia media en los países de la OCDE, del 35%. Suponiendo una eficiencia típica de nueva generación de energía a base de carbón (con equipo de eliminación de SO_x y NO_x) del 40% en los países del Anexo I, una mejora de eficiencia de 1% supondría una reducción de 2,5% en las emisiones de CO_2 (SIE II, 19.2.1.1). A la larga, las nuevas tecnologías de generación de electricidad a base de carbón con elevadas eficiencias comprenden ciclos de vapor supercríticos, combustión en lecho fluidizado a presión, y ciclos combinados integrados de gasificación. Algunas de esas tecnologías son comerciales, en tanto que otras requieren más IDyD.

El gas natural en plantas de energía de ciclo combinado es el que permite lograr las mayores eficiencias de conversión de todos los combustibles fósiles; actualmente, 45% a corto plazo, y 55% o más a largo plazo. Los costos de inversión en las plantas de ciclo combinado son aproximadamente un 30% más bajos que en las de vapor de gas convencionales, aunque los costos reales de la electricidad dependerán de los costos de combustible, generalmente más alto en el caso del gas natural que en el del carbón. Por otra parte, las plantas de ciclo combinado son menos costosas que las turbinas de combustión sencillas, menos eficientes pero que requieren períodos de instalación más breves (SIE II, 19.2.1.1).

Las posibilidades de reducción de GEI son aproximadamente proporcionales a las mejoras de eficiencia realizadas. Con tecnologías más avanzadas que utilizan el mismo combustible fósil, las ganancias de eficiencia se traducen en menores costos del combustible, lo que puede compensar muchas veces el capital necesario, algo más importante. Las mejoras tecnológicas pueden reportar considerables beneficios secundarios, como reducciones de otros contaminantes [p. ej., dióxido de azufre (SO_2), NO_x , y partículas]. Los costos adicionales son con frecuencia insignificantes, porque para mejorar la eficiencia no es necesario introducir cambios tecnológicos radicales. Las mejoras de rendimiento energético tienen además la ventaja de ser replicables.

La producción de calor y energía combinados (CEC) permite aumentar considerablemente la utilización del combustible,

hasta un 80-90%, proporción mucho más elevada que la producción separada de electricidad y calor (SIE II, 19.2.1.4). El aspecto económico de CEC está íntimamente vinculado con la disponibilidad o el desarrollo de redes de calefacción y refrigeración urbanas y suficientes densidades de demanda.

5.2.2 *Cambio a combustibles fósiles con poco carbono*

Con el cambio a combustibles de menor proporción de carbono-hidrógeno, como el paso del carbón al petróleo o al gas natural, y del petróleo al gas natural, se pueden reducir las emisiones. El gas natural es el que produce menos emisiones de CO_2 por unidad de energía de todos los combustibles fósiles, con unos 15 kg C/GJ, frente a unos 20 kg C/GJ en el caso del petróleo, y unos 25 kg C/GJ en el del carbón (todos ellos basados en bajos valores de calentamiento). Los combustibles con menor contenido de carbono pueden convertirse, en general, con mayor eficiencia que el carbón. En muchas zonas existen grandes recursos de gas natural (SIE II, RRP.4.1.3.1). Con nuevas tecnologías de ciclo combinado, alta eficiencia y baja inversión de capital se pueden reducir considerablemente los costos de electricidad en algunas zonas donde los precios del gas natural son relativamente bajos en comparación con los carbón.

Pasando del carbón al gas natural y manteniendo la misma eficiencia de conversión de combustible a electricidad se reducirían las emisiones en un 40%. Teniendo en cuenta que la eficiencia de conversión del gas natural es generalmente más alta que la del carbón (SIE II, 19.2.1), la reducción global de las emisiones por unidad de electricidad generada podría llegar al 50%.

Si bien el gas natural abunda, en algunas partes del mundo no se dispone de él como fuente de energía doméstica. Por eso, un cambio mayor al gas natural entrañaría modificaciones en las dependencias de importación de energía, lo que plantea varias cuestiones de política. La inversión inicial y los gastos de administración podrían ser sustanciales, debido a la necesidad de desarrollar nuevas infraestructuras de transporte, distribución y uso final. En consecuencia, los potenciales de reducción realmente alcanzables podrían diferir mucho entre las regiones, según condiciones locales como los precios relativos del combustible o la disponibilidad de gas.

El mayor uso de gas natural podría dar lugar a fugas adicionales de CH_4 , que es principal componente del gas natural. Existen métodos para reducir las emisiones de CH_4 mediante la extracción de carbón, entre 30 y 90%; la quema y la aireación de gas natural en más del 50%, y de los sistemas de distribución de gas natural hasta un 80% (SIE II, 22.2.2). Algunas de esas reducciones podrían ser económicamente viables en muchas regiones del mundo, lo que supondría muchos beneficios, incluido el uso de CH_4 como fuente de energía (SIE II, 19.2.2.1).

5.2.3 *Descarbonización de gases de escape y combustibles, y almacenamiento y secuestro de CO_2*

Existe la posibilidad de eliminar y almacenar CO_2 procedente de gases de centrales térmicas que utilizan combustibles fósiles,

pero con ello se reduce la eficiencia de la conversión y se aumenta considerablemente el costo de la producción de electricidad. En otro método de descarbonización se utiliza combustible fósil como materia prima para producir combustibles ricos en hidrógeno; por ejemplo, el propio hidrógeno, metanol, etanol o CH_4 convertido del carbón. Con ambos métodos se genera una corriente de CO_2 que puede almacenarse, por ejemplo, en yacimientos de gas natural agotados o en los océanos (SIE II, RRP.4.1.3.1). En razón de su costo y de la necesidad de desarrollar la tecnología, esta opción sólo ofrece oportunidades limitadas para la aplicación a corto y a medio plazo (p. ej., como fuente de CO_2 utilizable en la recuperación avanzada de petróleo) (SIE II, 19.2.3.1). En algunas opciones de almacenamiento de CO_2 a más largo plazo (p. ej. en los océanos), se siguen desconociendo en gran medida tanto los costos como los efectos para el medio ambiente y la eficacia (SIE II, RRP.4.1.3.1).

En una central térmica de carbón tradicional con una eficiencia del 40%, reduciendo el 87% de las emisiones de CO_2 resultantes de gases de combustión (pasando de 230 a 30 g C/kWhe) se reduciría la eficiencia al 30% y se aumentarían los costos de electricidad en un 80% aproximadamente, lo que equivale a 150 \$/t C evitada (SIE II, 19.2.3.1).

En una central de ciclo combinado de gas natural con una eficiencia de 52%, reduciendo las emisiones de CO_2 en torno al 82% (pasando de 110 a 20 g C/kWhe) se reduciría la eficiencia al 45% y se aumentarían los costos de electricidad en un 50% aproximadamente, lo que equivale a 210 \$/t C evitada (SIE II, 19.2.3.1). Si bien la reducción concreta de los costos por tonelada de carbón evitada es mayor en el caso del gas natural que en el del carbón, esto se traduce en un menor costo incremental por kilovatio-hora de electricidad, debido al menor contenido de carbono específico del gas natural.

Otro proceso para la descarbonización de combustibles es la gasificación de carbón y la supresión de CO_2 reformando el gas de síntesis. En una central de energía de carbón de ciclo combinado integrado de gasificación (CCIG) original con una eficiencia del 44%, la reducción de las emisiones de CO_2 en un 85% aproximadamente (pasando de 200 a 25 g C/kWhe) se reduciría la eficiencia en un 37% aproximadamente y se aumentarían los costos de electricidad en 30-40%, lo que equivale a menos de 80 \$/t C evitada (SIE II, 19.2.3.2).

Otra opción futura para reducir los costos que se está investigando es la utilización de oxígeno en lugar de aire para la combustión con el fin de obtener un gas de combustión compuesto esencialmente por CO_2 y vapor de agua.

Otra opción conexa sería producir gases ricos en hidrógeno para la generación de electricidad y otras aplicaciones. Se estima que en la recuperación de CO_2 mediante gas natural para la reforma de vapor, los costos de captación y almacenamiento en un yacimiento de gas natural próximo son inferiores a 30 \$/t C evitada (SIE II, 19.2.3.2). Con la futura disponibilidad de tecnologías de conversión, como células energéticas que pueden utilizar eficientemente hidrógeno, habría un mayor atractivo

con relación a esta opción. Suministrando electricidad e hidrógeno como energía final se eliminarían prácticamente las emisiones en el lugar de uso final, y se lograría la supresión y el almacenamiento de carbono en el propio sector energético.

Otra opción es almacenar el CO_2 recuperado en pozos de petróleo y de gas agotados (SIE II, 19.2.3.3). La capacidad global estimada de almacenamiento en yacimientos de petróleo y de gas varía entre 130 y 500 Gt C, lo que se traduce en un gran potencial de mitigación. Los costos de almacenamiento en yacimientos de gas natural en tierra se estiman en menos de 11 \$/t C, en tanto que los de transporte son de unos 8 \$/t C para un gasoducto de 250 km con capacidad de 5,5 Mt C/año (SIE II, 19.2.3.3). Otra opción es almacenar el CO_2 en acuíferos salinos, que pueden hallarse a diferentes profundidades en el mundo entero.

El mayor depósito potencial de CO_2 son los fondos marinos (SIE II, 19.2.3.3). El CO_2 puede transferirse directamente a los océanos, a ser posible a 3 000 m o más de profundidad; el CO_2 depositado se aislaría de la atmósfera al menos durante siglos. Es preciso seguir estudiando las preocupaciones sobre los posibles impactos para el medio ambiente y el desarrollo de tecnologías de eliminación adecuadas y la evaluación de sus costos.

5.2.4 Cambio a la energía nuclear

La energía nuclear puede sustituir a la generación de electricidad en combustibles fósiles con carga de base en muchas partes del mundo si se pueden hallar respuestas generalmente aceptables a preocupaciones como la seguridad de los reactores, el transporte y la eliminación de desechos radiactivos, y la proliferación nuclear (SIE II, RRP.4.1.3.2). En un examen de las encuestas de opinión se llega a la conclusión de que las preocupaciones de la población por la energía nuclear se centran en dudas sobre la necesidad económica, el temor de grandes catástrofes, el almacenamiento de desechos nucleares y la utilización indebida de material fisible (SIE II, 19.2.4).

Los costos de generación de electricidad nuclear varían según los países de 2,5 a 6¢/kWhe; los costos de nuevas centrales, incluidas la eliminación de desechos y la puesta fuera de servicio de centrales, varían de 2,9 a 5,4¢/kWhe, utilizando un tipo de redescuento de 5%, y de 4,0 a 7,7¢/kWhe, utilizando un tipo de redescuento de 10% (SIE II, 19.2.4). Los costos nivelados previstos de la electricidad de carga de base para finales de siglo indican que la energía nuclear seguirá siendo una opción en varios países en que funcionan y se están construyendo centrales. Como esos costos de generación de energía nuclear son comparables a los del carbón, los costos de mitigación específicos variarían entre 120 \$/t C evitada y costos adicionales insignificantes (suponiendo costos de electricidad de carbón convencionales de 5¢/kWhe, costos de la energía nuclear entre 5,0 y 7,7¢/kWhe, y emisiones evitadas de 230 g C/kWhe) (SIE II, 19.2.1.1).

Se están desarrollando nuevos diseños, como los reactores refrigerados por gas modulares de elevada temperatura para ofrecer

mayor seguridad y mejorar el rendimiento económico mediante la disminución de los tiempos de construcción y de los costos de explotación y mantenimiento. Se ha reavivado el interés por los reactores enfriados por metal líquido y otros diseños nuevos, como dispositivos aceleradores de alta energía, en vista de su posible utilización en la gestión y eliminación de materiales fisibles. También se están elaborando otros conceptos con el fin de mejorar la utilización de la energía nuclear en aplicaciones no eléctricas, como calor para usos industriales y calefacción urbana; y, a más largo plazo, la energía nuclear podría utilizarse en la producción de hidrógeno (SIE II, 19.2.4).

5.2.5 Cambio a fuentes de energía renovables

Los avances tecnológicos ofrecen nuevas posibilidades que permitirán reducir los costos de la energía de fuentes renovables. A largo plazo, con esas fuentes se podrá atender una importante parte de la demanda mundial de energía. Los sistemas energéticos, junto a equipos auxiliares y de almacenamiento de respuesta rápida, pueden absorber crecientes cantidades de generación intermitente (SIE II, RRP.4.13.2). Las fuentes de energía renovables utilizadas constantemente producen pocas emisiones de GEI, o ninguna. Algunas emisiones están asociadas con el uso no sostenible de biomasa; por ejemplo, las debidas a la reducción de la cantidad de biomasa permanente y a la descomposición de biomasa vinculada a embalses desbordados (SIE II, 19.2.5). Si la energía de biomasa puede desarrollarse en formas en que se tengan realmente en cuenta las preocupaciones por los problemas ambientales (p. ej., impactos sobre la diversidad biológica) y la competencia con otros usos de la tierra, la biomasa puede hacer importantes contribuciones a los mercados de la electricidad y de los combustibles (SIE II, RRP.4.1.3.2). En general, con las fuentes de energía renovables se pueden obtener sustanciales reducciones de emisiones de GEI en comparación con el uso de combustibles fósiles (SIE II, 19.2.5), siempre y cuando su rendimiento económico siga mejorando y no surjan problemas de emplazamiento.

5.2.5.1 Energía hidroeléctrica

El potencial técnico se ha estimado en 14.000 TWh_e/año, de las que 6.000-9.000 TWh_e/año pueden explotarse económicamente a largo plazo después de considerar los factores sociales, ambientales, geológicos y económicos (SIE II, 19.2.5.1). El potencial del mercado para reducir las emisiones de GEI depende del combustible fósil sustituido por la energía hidroeléctrica. Las posibilidades económicas a largo plazo para la sustitución del carbón son de 0,9-1,7 Gt C evitada anualmente (según la tecnología y la eficiencia); en el caso del gas natural, el potencial es de 0,4-0,9 Gt C evitada anualmente.

Los costos de inversión en proyectos hidroeléctricos en 70 países en desarrollo en el decenio de 1990 indican que, por término medio, el costo de la nueva hidroelectricidad suministrada para uso final es de 7,8¢/kWh_e. El costo de la inversión real puede ser más alto, y la financiación podría convertirse en un obstáculo debido a los largos horizontes de amortización previstos

(SIE II, 19.2.5.1). La sustitución de electricidad moderna obtenida por carbón conforme se presenta en el SIE II (19.2.1.1) supondría unos costos medios de reducción de CO₂ de 120 \$/t C evitada (suponiendo costos de la electricidad de carbón convencionales de 5¢/kWh_e y emisiones evitadas de 230 g C/kWh_e) (SIE II, 19.2.1.1).

La energía hidroeléctrica en pequeña escala puede ser importante a nivel regional, sobre todo cuando es rentable. Por otro lado, la fase de construcción de grandes centrales hidroeléctricas tiene consecuencias sociales y efectos directos e indirectos para el medio ambiente, como desviación de aguas, alteración de pendientes, preparación de embalses, creación de infraestructura para la amplia fuerza de trabajo, o la perturbación de ecosistemas acuáticos, que inciden adversamente en la salud humana. Entre las consecuencias sociales figuran el desplazamiento de personas, además de un efecto de auge y declive en la economía nacional. La infraestructura asociada estimula el desarrollo económico regional y reporta además beneficios adicionales a la agricultura como un embalse de agua (SIE II, 19.2.5.1).

5.2.5.2 Biomasa

Entre las posibilidades de suministrar energía de biomasa figuran los desechos sólidos municipales, los residuos industriales y agrícolas, los bosques existentes y las plantaciones de energía (SIE II, 19.2.5.2.1).

El rendimiento y los costos de la energía de biomasa dependen de condiciones locales, como la disponibilidad de tierra y de residuos de biomasa y la tecnología de producción. Normalmente, la relación producto-insumo para cultivos alimentarios de gran calidad es reducida en comparación con la correspondiente a los cultivos destinados a energía, que rebasa a menudo la primera relación en un factor de 10. Se estima que el costo de la producción de biomasa varía mucho. Sobre la base de la experiencia comercial en Brasil, se pueden producir aproximadamente 13 EJ/año de biomasa a un costo medio de 1,7 \$/GJ en el caso de troceados de madera suministrados. Los costos son superiores en los países del Anexo I. Para la generación de electricidad en los países del Anexo I, se espera que los insumos de biomasa en el futuro cuesten alrededor de 2 \$/GJ (SIE II, 19.2.5.2.1).

La gama de los costos de mitigación para las formas de energía derivadas de la biomasa, como electricidad, calor, biogás o combustibles de transporte, no sólo depende del costo de la producción de biomasa, sino también de los aspectos económicos de determinadas tecnologías de conversión de combustibles. Suponiendo unos costos de biomasa de 2 \$/GJ y una producción en pequeña escala, podría generarse electricidad a 10-15¢/kWh_e. Con un costo inferior de la biomasa (0,85 \$/GJ), podría generarse electricidad a menos de 10¢/kWh_e (SIE II, 19.2.5.2.2). Sustituyendo carbón por biomasa, los costos de mitigación variarían entre 200-400 \$/t C evitada. En un futuro ciclo de gasificador/turbina de gas integrado de biomasa con un rendimiento previsto de 40-45% y unos costos de biomasa de 2 \$/GJ

se podría producir electricidad a un costo comparable al del carbón y/o precios del carbón en la gama de 1,4-1,7 \$/GJ (SIE II, 19.2.5.2.2). En este caso, los costos de mitigación específicos podrían ser insignificantes.

Los biocombustibles modernos derivados de materias primas

leñosas ofrecen la posibilidad de producir más energía a menor costo con impactos inferiores para el medio ambiente que la mayoría de los biocombustibles tradicionales. Además del etanol, el metanol y el hidrógeno son biocombustibles prometedores.

Recuadro 3. Potencial técnico de reducción de las emisiones de CO₂ sobre la base de los escenarios IS92 del IPCC para diferentes tecnologías de mitigación en el año 2020

En la preparación de estos cálculos de potencial técnico se ha partido del supuesto de que el 50% de las nuevas capacidades de conversión de energía instaladas en países del Anexo I entre 1990 y 2020 emplearán las tecnologías de mitigación descritas en el presente documento, con independencia de los costos, que variarían según las tecnologías. Se consideran seis tecnologías de mitigación distintas: sustitución de carbón por gas natural, descarbonización de gas de combustión del carbón y del gas natural, supresión de CO₂ del carbón, y sustitución de carbón y de gas natural por energía nuclear o biomasa, respectivamente. Con este cálculo no se trata de hacer una evaluación completa de las opciones de mitigación en el sector energético. Sólo se presentan seis ejemplos, a causa de las limitaciones que imponen los escenarios IS92. El potencial de mitigación de cada opción tecnológica se basa en un análisis de sensibilidad del escenario IS92a y en la gama comprendida entre los escenarios IS92e e IS92c. Algunas de esas opciones de mitigación pueden ser mutuamente exclusivas, y no son aditivas.

Cada cálculo comprende varios pasos. Primero, se infieren nuevas adiciones de capacidad entre 1990 y 2020 en los escenarios IS92; segundo, también se infieren los perfiles de nuevas capacidades que han de sustituirse parcialmente en países del Anexo I por tecnologías de mitigación, en el supuesto de que el 50% de esas capacidades consista en nuevas tecnologías; tercero, se determinan las reducciones de emisiones de CO₂ de que se trata para los tres escenarios IS92 utilizando características tecnológicas del SIE II, Capítulo 19, y coeficientes de las emisiones del SIE II, Capítulo B; y, por último, se evalúan para cada uno de los tres escenarios las reducciones de las emisiones porcentuales.

El grado en que pueda lograrse el potencial técnico dependerá de futuras reducciones de costos, del ritmo de desarrollo y aplicación de nuevas tecnologías, de la financiación, y de la transferencia de tecnología, así como de medidas para superar diversos obstáculos no técnicos como impactos adversos sobre el medio ambiente, aceptabilidad social, y otras condiciones regionales, sectoriales y propias de los países.

Tecnología de mitigación	Potencial técnico de reducción de CO ₂ sobre la base del escenario IS92a (y gama para IS92e a IS92c)		
	Gt C	% del Anexo I	% del mundo
Sustitución de carbón por gas natural para la generación de electricidad en países del Anexo I	0.25 (0.01–0.4)	4.0 (2.0–6.0)	2.5 (1.0–4.0)
Descarbonización de gas de combustión (con eliminación de NO _x y SO _x) del carbón para la generación de electricidad en países del Anexo I	0.35 (0.1–0.6)	6.0 (3.0–8.0)	3.5 (1.5–5.0)
Descarbonización de gas de combustión (con eliminación de NO _x) del gas natural para la generación de electricidad en países del Anexo I	0.015 (0.0–0.05)	0.5 (0.0–0.5)	0.15 (0.0–0.45)
Eliminación de CO ₂ del carbón antes de la combustión para la generación de electricidad en países del Anexo I	0.35 (0.1–0.6)	6.0 (3.0–8.0)	3.5 (1.5–5.0)
Sustitución de gas natural y de carbón por energía nuclear para la generación de electricidad en países del Anexo I	0.4 (0.15–0.65)	7.0 (3.0–9.5)	4.0 (2.0–5.5)
Sustitución de carbón por biomasa (en generación de electricidad, producción de combustibles sintéticos y uso final directo) en países del Anexo I ^a	0.55 (0.25–0.85)	9.5 (5.5–12.0)	5.5 (3.0–7.0)

^a Las necesidades de biomasa serían de 9-34 EJ/año, inferior a la gama de 72-187 EJ para el potencial de biomasa en 2020 a 2025 (SIE II, B.3.3.2). Estas cifras son más altas que las estimadas en el capítulo del SIE sobre la agricultura (SIE II, 23), y sólo pueden alcanzarse mediante actuaciones que no se limiten a las medidas agrícolas.

La energía de biomasa moderna ofrece asimismo posibilidades de generar ingresos en zonas rurales. Con esos ingresos, los agricultores de un país en desarrollo podrían modernizar sus técnicas de cultivo y reducir la necesidad de ampliar los rendimientos dedicando más tierras marginales a la producción. En los países industrializados, produciendo biomasa en las tierras agrícolas excedentes, los gobiernos podrían eliminar gradualmente las subvenciones a la agricultura (SIE II, 19.2.5.2).

En la actualidad las tecnologías modernas de conversión de biomasa y las plantaciones de biomasa se encuentran en una fase incipiente y requieren más IDyD para alcanzar la madurez técnica y ser económicamente viables. Con las preocupaciones sobre los futuros suministros de alimentos se ha suscitado la cuestión de que en países africanos y en otros países que no figuran en el Anexo I no se dispondrá de tierra para la producción de biomasa con fines energéticos (SIE II, 19.2.5.2.1). La posible competencia por el uso de la tierra dependerá del grado en que pueda modernizarse la agricultura en esos países para lograr rendimientos equivalentes a los obtenidos en los países del Anexo I, y de que se intensifique la producción agrícola en forma ecológica y económicamente aceptable.

5.2.5.3 Energía eólica

La energía eólica intermitente en una gran red puede contribuir aproximadamente al 15-20% de la producción de electricidad anual sin tomar disposiciones especiales con fines de almacenamiento, reserva ni gestión de la carga (SIE II, 19.2.5.3.2, 19.2.6.1). En un sistema público con predominio de los combustibles fósiles, el efecto de mitigación de las tecnologías eólicas corresponde a la reducción del uso de combustibles fósiles. Se prevé que el potencial eólico en 2020 se sitúe en la gama de 700-1.000 TWh_e (SIE II, B.3.3.2); si se utilizara para sustituir combustibles fósiles, sin tener en cuenta los costos, esto se traduce en una reducción de las emisiones de CO₂ de 0,1-0,2 Gt C/año.

El costo medio de las existencias actuales de energía procedente de la energía eólica es de unos 10¢/kWh, aunque la gama es amplia. Para 2005 a 2010, la energía eólica podrá competir con la energía de combustibles fósiles y la energía nuclear, y no sólo en pequeños mercados. Por término medio, en la nueva tecnología se han estimado unos costos de inversión de 1.200 \$/kW y unos costos de producción de electricidad de 6¢/kWh. Los costos podrían ser bastante menores en grandes explotaciones eólicas. Se ha calculado que, en el futuro, los costos pueden ser tan sólo de 3,2¢/kWh en lugares favorables a un tipo de redescuento de 6% (SIE II, 19.2.5.3.3). En este caso, los costos de mitigación de CO₂ específicos son insignificantes, si no nulos o negativos, donde la electricidad derivada del carbón es más costosa. En países con un gran número de turbinas eólicas en funcionamiento se produce a veces una oposición de la población, debido a factores como el ruido de las turbinas, los efectos visuales para el paisaje, y la perturbación de la vida silvestre (SIE II, 19.2.5.3.5).

5.2.5.4 Energía solar

La conversión directa de la luz solar en electricidad y calor puede lograrse mediante tecnologías fotovoltaica (FV) y heliotérmica. La energía FV es ya competitiva como fuente de energía independiente alejada de las redes de servicios públicos eléctricos. Sin embargo, no es competitiva en la mayoría de las aplicaciones de conexión a la red. Si bien los costos de capital modulares han disminuido mucho en los últimos años, los costos de capital del sistema son de 7.000-10.000 \$/kW; el costo correspondiente de la electricidad es de 23-33¢/kWh, incluso en zonas de mucha insolación (2.400 kWh/m²/año). Sin embargo, se espera que el costo de los sistemas FV mejore considerablemente mediante IDyD, y economías de escala. En razón de su modularidad, la tecnología FV puede reducir los costos mediante experimentación e innovación tecnológica (SIE II, 19.2.5.4.1). Aunque los dispositivos FV no contaminan en el funcionamiento normal, en algunos sistemas hay que utilizar materiales tóxicos, por lo que puede haber riesgos en las fases de fabricación, uso y eliminación.

Entre 2020 y 2025, el potencial económico anual de energía solar en pequeños mercados bien definidos se estima en 16-22 EJ (SIE II, B.3.3.2). La realización de este potencial dependerá de las mejoras en el costo y el rendimiento de las tecnologías helioeléctricas. Si se logra totalmente, con independencia de los costos, la reducción de CO₂ podrá ser de 0,3-0,4 Gt C anual. Una central de energía de 50-MW sobre la base de la tecnología de 1995 con unos costos de instalación de 2.300 \$/kW generaría unos costos del orden de 8-9¢/kWh en zonas muy soleadas (SIE II, 19.2.5.4.1). El costo de mitigación con respecto a una generación de electricidad a base de carbón de unos 5¢/kWh se situaría entonces en la gama de 130-170 \$/t C evitada; en comparación con la electricidad a base de gas con costos similares, esa gama sería de 270-350 \$/t C evitada. En esos costos no se tienen en cuenta las consideraciones del sistema energético, como necesidades de almacenamiento o ventajas de sustituir electricidad más onerosa en períodos cargados, en que la producción FV guarda una buena relación con la demanda máxima de electricidad.

Según evaluaciones optimistas de los futuros costos de la energía FV, pueden obtenerse valores tan bajos como 700-800 \$/kW para 2020-2030, y unos costos de la electricidad de 2,2-4,4¢/kWh, según el nivel de insolación (SIE II, 19.2.5.4.1; Cuadro 19-6). Sin tener en cuenta las consideraciones del sistema energético, con la generación energía FV a esos costos se reducirían los costos de generación y las emisiones con relación a las tecnologías tradicionales de carbón a costos actuales. Según otras estimaciones, los costos de generación de energía FV en 2030 se sitúan entre 50 y 100% por encima de esos valores, según se acelere o no la IDyD.

Los sistemas eléctricos heliotérmicos pueden atender a largo plazo una parte considerable de las necesidades mundiales de electricidad y energía. Con esta tecnología se genera calor a altas temperaturas, por lo que se pueden realizar eficiencias de conversión del 30% aproximadamente (SIE II, 19.2.5.4.2).

Cuadro 10: Ejemplos seleccionados de medidas y opciones técnicas para mitigar las emisiones de GEI en la generación de electricidad.

Opciones técnicas	Medidas	Efectos climáticos y otros efectos ambientales	Efectos económicos y sociales	Consideraciones administrativas, institucionales y políticas
Mejoras de eficiencia – Potencial para mejorar la eficiencia térmica en la generación de energía de la media actual de 30% a 60% a largo plazo – Transmisión de energía – Refinerías – Producción de combustible sintético – Transmisión de gas	Programas basados en el mercado – Impuestos sobre GEI – Impuestos sobre la energía – Permisos de emisiones negociables Medidas reglamentarias – Normas obligatorias de eficiencia Acuerdos voluntarios – Arreglos voluntarios con clientes – Reducción de la energía de uso propio	Efectos climáticos – Reducción de todos los contaminantes de GEI y de otro tipo; con un aumento de la eficiencia de conversión térmica de 35 a 40% se reducen las emisiones de CO₂ en 12,5% – Posibilidad a largo plazo de reducir hasta el 50% de las emisiones Otros efectos – Mejor calidad atmosférica local y menor contaminación regional	Rentabilidad – Pueden lograrse cambios evolutivos con costos adicionales bajos o nulos Cuestiones macroeconómicas – Reducción de la importación de energía Cuestiones de equidad – Tendencia a ser muy equitativa y replicable	Factores administrativos/institucionales – Incluso sin políticas ni medidas de mitigación de GEI directas se puede realizar una buena parte del potencial de mejora – Difusión de información Factores políticos – Creación de plataformas e incentivos para acuerdos voluntarios
Cambio a combustibles con poco carbono – De carbón a gas natural – De petróleo a gas natural	Programas basados en el mercado – Impuestos sobre GEI – Impuestos sobre la energía según el combustible – Permisos de emisiones negociables Medidas reglamentarias – Uso obligatorio de combustible Acuerdos voluntarios – Cambio voluntario de combustible	Efectos climáticos – Reducción de CO₂ y de otros contaminantes, <i>ceteris paribus</i> en 40% (del carbón y 20% del petróleo) – Además, el gas natural ofrece mayores eficiencias de conversión, con lo que se reducen aún más las emisiones de GEI – Posibles inconvenientes de emisiones más altas de CH₄ Otros efectos – Mejor calidad atmosférica local y menor contaminación regional	Rentabilidad – Rentable cuando se dispone de gas, pero con elevados costos de infraestructura del gas – Incertidumbre a la larga sobre los precios del gas Cuestiones macroeconómicas – A corto y a medio plazo, posibilidad de suministro de electricidad a bajo costo – Para los países sin suficiente disponibilidad de gas doméstico, mayor dependencia de las importaciones de gas Cuestiones de equidad – Competencia internacional por el gas natural a bajo costo	Factores administrativos/institucionales – Necesidad de acuerdos comerciales sobre el gas a largo plazo – Compatible con la descentralización y desreglamentación de industrias de energía – Estímulo para la cogeneración y producción de energía independiente Factores políticos – Preocupaciones por la seguridad de suministro, geopolítica
Descarbonización de gases de combustión – Reducción de CO₂ (depuración) – Gasificación de carbón y reforma de gas de síntesis – Producción de gases ricos en hidrógeno	Programas basados en el mercado – Impuestos sobre el carbono – Permisos de emisiones negociables Medidas reglamentarias – Normas sobre emisiones – Reglamentación de lugares de almacenamiento subterráneos – Convenciones internacionales sobre almacenamiento en los océanos Acuerdos voluntarios – Cascada de CO₂ cuando proceda	Efectos climáticos – Reducción específica de CO₂ hasta un 85%, por kWh_e – Eliminación/almacenamiento con perspectivas inciertas de almacenamiento en los océanos Otros efectos – Con una descarbonización efectiva se pueden eliminar grandes cantidades de SO_x y NO_x, y por tanto mejorar la calidad atmosférica local y regional	Rentabilidad – Supone menos cambios en el sector de la energía – Elevados costos de depuración, entre 80-150 \$/t C y más – Costos adicionales de almacenamiento – Pérdida de eficiencia en la generación de electricidad Cuestiones macroeconómicas – Ninguna reestructuración importante en el sector de la energía – Mayor extracción de combustibles fósiles y/o importaciones de combustible Cuestiones de equidad – Acceso a instalaciones de eliminación de CO₂	Factores administrativos/institucionales – IDyD sobre eliminación y almacenamiento en los océanos – Acceso a los yacimientos de petróleo y de gas agotados Factores políticos – Acuerdos internacionales sobre eliminación en el océano en gran escala

Cuadro 10 (continuación)

Opciones técnicas	Medidas	Efectos climáticos y otros efectos ambientales	Efectos económicos y sociales	Consideraciones administrativas, institucionales y políticas
Nuclear – Mayor uso de la energía nuclear	Programas basados en el mercado – Impuestos sobre el carbono – Permisos de emisiones negociables Medidas reglamentarias – Normas y códigos – No proliferación Acuerdos voluntarios – Acuerdos entre la industria nuclear, los operadores y el público interesado IDyD – IDyD sobre el eliminación de desechos y seguridad	Efectos climáticos – Reducción de todos los contaminantes de GEI y de otro tipo, como SO _x y NO _x y partículas Otros efectos – Mejor calidad atmosférica local – Liberación de radiactividad accidental y eliminación de desechos nucleares	Rentabilidad – En condiciones especiales, opción de mitigación rentable – Gama amplia y creciente de costos iniciales altos – Limitados a la operación de carga de base Cuestiones macroeconómicas – Menos gastos en importaciones de combustible; incertidumbre sobre la viabilidad económica – Falta de aceptación por el público Cuestiones de equidad – Acceso a la tecnología limitado debido a riesgos de proliferación	Factores administrativos/institucionales – Falta de apoyo público – Entre las preocupaciones figuran proliferación, eliminación de desechos y normas sobre seguridad Factores políticos – Clima reglamentario y político estable – Acuerdos internacionales sobre eliminación de desechos nucleares en gran escala
Biomasa – Plantaciones y silvicultura para energía – Conversión de biomasa para la generación de electricidad y calor – Gasificación de biomasa y producción de combustibles líquidos – Hidrógeno de biomasa	Programas basados en el mercado – Cambio de estructura de subvenciones a la agricultura – Impuestos sobre el carbono – Permisos de emisiones negociables Medidas reglamentarias – Reglamentación de las emisiones – Zonación agrícola Acuerdos voluntarios – Utilización de tierras marginales para plantaciones destinadas a energía – Apoyo de iniciativas de biocombustible local o bioconversión IDyD – Apoyo de IDyD para reducir costos de plantas de conversión avanzadas	Efectos climáticos – Pueden causar emisiones de carbono no netas – Pueden ser una opción de secuestro Otros efectos – Reducción de otros contaminantes – Preocupaciones por la biodiversidad y los monocultivos	Rentabilidad – Plantas de conversión avanzadas no disponibles comercialmente, pero posible con IDyD acelerada Cuestiones macroeconómicas – Reestructuración de la agricultura y tal vez de la silvicultura – Desarrollo económico en zonas rurales Cuestiones de equidad – Tierra accesible	Factores administrativos/institucionales – Conflicto por el uso de la tierra – Cooperativas de plantaciones destinadas a energía – Arreglos de producción de energía independientes – Compatible con la descentralización y desreglamentación de industrias de energía – Difusión de información Factores políticos – Política agrícola y de desarrollo rural estable
Energía eólica (ejemplo de fuentes renovables intermitentes) – Utilización de máquinas eólicas en lugares favorables – Distantes de la red – Integradas a la red	Programas basados en el mercado – Impuestos sobre el carbono – Permisos de emisiones negociables Medidas reglamentarias – Reglamentación de las emisiones – Zonación de lugares apropiados Acuerdos voluntarios – Adoptados con servicios públicos en una fase temprana IDyD – Apoyo de IDyD para reducir costos	Efectos climáticos – Reducción de todos los contaminantes de GEI y de otro tipo, como SO _x , NO _x y partículas Otros efectos – Posibles impactos sobre el paisaje, el ruido y la vida silvestre	Rentabilidad – Rentable en lugares favorables – Amplia gama de costos, y por tanto incertidumbres económicas Cuestiones macroeconómicas – Desarrollo económico en zonas rurales	Factores administrativos/institucionales – Compatible con la descentralización y desreglamentación de industrias de energía – Difusión de información – Zonación para explotaciones eólicas – Acceso a redes de servicios públicos Factores políticos – Política de energía estable

Con la tecnología parabólica se han logrado importantes reducciones de costos, y en las centrales actuales el de la energía es de 9-13¢/kWh en el modo híbrido. Los costos de la energía previstos de las torres de potencia son considerablemente menores: 4-6¢/kWh (SIE II, 19.2.5.4.2).

Además de la producción de electricidad, los sistemas heliotérmicos pueden proporcionar calor para usos industriales a elevadas temperaturas, y se pueden utilizar receptores centrales para procesar combustibles avanzados como hidrógeno y productos químicos (SIE II, 19.2.5.4.2). Los sistemas heliotérmicos locales pueden proporcionar calefacción y agua caliente para usos domésticos, comerciales o industriales (SIE II, 19.2.5.5).

5.2.5.5 Energía geotérmica y oceánica

En 21 países se produce electricidad mediante energía geotérmica. El costo de la generación de electricidad procedente de esta fuente se estima en unos 4¢/kWh_e, y el calor se genera a 2¢/kWh_{th}. En unos 40 países se utiliza directamente agua geotérmica, y 14 países han instalado capacidad superior a 100 MW_{th} (SIE II, 19.2.5.6.1).

Hay varias emisiones asociadas a la energía geotérmica, entre ellas CO₂, sulfuro de hidrógeno y mercurio. Las tecnologías avanzadas son casi de circuito cerrado y sus emisiones son muy bajas (SIE II, 19.2.5.6.1). Se estima que en 2020-2025 el potencial de energía geotérmica será de 4 EJ (SIE II, B.3.3.2). Las reservas de roca profunda caliente seca y otras no hidrotérmicas ofrecen nuevos recursos de suministro. A pesar de su importancia para la economía local, las posibilidades de reducción de carbono son escasas.

Si bien la energía total del flujo de las mareas, las olas, los gradientes térmicos y de salinidad de los océanos mundiales es grande, lo probable es que en los 100 años próximos sólo se explote una pequeña parte (SIE II, 19.2.5.6.2).

5.3 Medidas para reducir las emisiones de GEI en el sector de suministro de energía

En el Cuadro 10 figuran ejemplos de medidas y opciones técnicas para mitigar las emisiones de GEI en la generación de electricidad.

5.3.1 Programas basados en el mercado

Los programas basados en el mercado cambian directamente el precio relativo de las actividades relacionadas con la energía. En un mercado perfectamente competitivo, con un sistema de impuestos a la emisión o cuotas negociables, los emisores reducirían las emisiones hasta el punto en que el costo marginal del control iguala al tipo impositivo de las emisiones o al precio del equilibrio de una cuota de emisión. Ambos instrumentos fomentarían la eficiencia dinámica (minimización de costos a largo plazo, cuando los factores de producción son variables

y puede estimularse el cambio tecnológico), pues cada uno de ellos ofrece un incentivo continuo para la IDyD de tecnologías de reducción de las emisiones con el fin de evitar el impuesto y las compras de cuotas (SIE III, 11.5). Si bien se conocen los costos de los impuestos de las emisiones, la magnitud de la reducción de las emisiones es incierta. Esta situación de invierte en el caso de las cuotas de emisión.

5.3.1.1 Supresión gradual de subvenciones permanentes

Las subvenciones permanentes al sector energético envían señales incorrectas sobre el mercado a productores y consumidores, y pueden llevar a unos precios de la energía inferiores al costo real; por tanto, la asignación de recursos se distorsiona y, por su propia naturaleza, deja de ser óptima. Las subvenciones a tecnologías establecidas crean obstáculos artificiales en el mercado para la introducción de nuevas tecnologías. Por tal razón, como medio de mejorar las posibilidades de la introducción en el mercado de tecnologías modernas con menos emisiones de GEI, se ha propuesto que se adopte la fijación de precios basada en el costo marginal y la minimización, si no la eliminación, de subvenciones permanentes a largo plazo que aumentan las emisiones de GEI (SIE II, RRP 4.4). Esas subvenciones absorben grandes cantidades de capital, por lo que reducen las posibilidades de financiar inversiones para el uso eficiente de la energía, la IDyD en tecnologías con bajas emisiones de CO₂ u otras actividades económicas. Las tecnologías de energía tradicionales benefician de subvenciones directas de más de 300 000 millones \$ al año en el mundo entero (SIE II, 19.4).

Sin embargo, el argumento para suprimir subvenciones permanentes no significa que no puedan utilizarse algunas subvenciones temporales a corto plazo como medidas para apoyar la introducción en el mercado de opciones de mitigación de GEI como fuentes de energía renovables o técnicas menos contaminantes de uso de carbón. Por ejemplo, las garantías de precios para productores independientes que utilicen tecnologías de poco carbono ayudarían a reducir el riesgo económico de tecnologías que no han alcanzado la plena madurez.

5.3.1.2 Fijación de precios de los servicios de energía, basada en el costo total

Los textos sobre fijación de precios basada en el costo total son controvertidos. No hay consenso sobre la manera de monetizar los costos externos (verdaderamente sociales) de la producción y uso de energía (SIE III, RRP 6). Si fuera posible alcanzar un consenso, la práctica de fijación de los precios basada en el costo total contribuiría a la igualdad de condiciones para todas las tecnologías energéticas. Los costos externos comprenden los que no se reflejan habitualmente en los precios de mercado a falta de políticas. Entre los ejemplos de la documentación técnica figuran la morbilidad, la mortalidad, los daños al medio ambiente o las posibles consecuencias adversas de los impactos del cambio climático, las oportunidades de empleo, la competitividad y otros costos de oportunidad.

La inclusión de externalidades energéticas mejoraría la competitividad de los usos de energía con bajas emisiones (SIE II, 19.4). Como los costos externos de las tecnologías existentes y nuevas no se conocen, pero se espera que varíen considerablemente entre países y regiones, la adopción nacional unilateral de una fijación de los precios basada en el costo total podría influir adversamente, a corto plazo, en la competitividad económica internacional. Tal vez se necesiten acuerdos internacionales para superar esta preocupación por la competitividad.

5.3.1.3 Cuotas y permisos de emisiones negociables

Otras posibles medidas comprenden el establecimiento de cuotas de emisión y la concesión de permisos de emisiones negociables. A nivel internacional, cumpliendo las cuotas se pueden mejorar actividades aplicadas conjuntamente, con lo que países que no figuran en el Anexo I y algunos países del Anexo I con economías en transición podrían lograr simultáneamente tecnología y recursos financieros, con lo que se podría facilitar la aplicación de estrategias menos costosas internacionalmente¹⁶.

5.3.1.4 Asistencia para la financiación

La escasez de capital, especialmente en el mundo en desarrollo y en algunos países del Anexo I con economías en transición, es un importante obstáculo para la aplicación de opciones de mitigación de GEI. Si un proyecto tiene costos y emisiones con un menor ciclo vital pero mayores necesidades de capital que los proyectos alternativos, puede no atraer los recursos económicos necesarios. Además, las tecnologías de suministro de energía compiten con otras necesidades de desarrollo por capitales limitados. No obstante, muchas opciones de mitigación y otras opciones de energía pueden abarcar la producción de tecnología autóctona, creando nuevas infraestructuras locales y empleo. Especialmente en las zonas rurales, las tecnologías descentralizadas pueden coadyuvar a objetivos de desarrollo (SIE II, 19. Resumen ejecutivo).

Incluso en los países industrializados, el capital necesario para financiar la reducción de GEI relacionada con el sistema de suministro de energía puede producir menores rendimientos que los que se obtendrían con otras oportunidades de inversión. Las medidas para hacer más atractivas en el mercado las tecnologías de suministro y conversión ayudarían a resolver algunas de las dificultades de financiación, reduciendo el riesgo, la incertidumbre y las necesidades de capital inicial. Otras medidas comprenden la amortización acelerada, préstamos para la iniciación de actividades industriales y créditos en condiciones favorables (SIE II, RRP 4.4).

5.3.2 Medidas reglamentarias

En el enfoque tradicional de la política sobre medio ambiente en muchos países se han utilizado normas uniformes (basadas en la tecnología o en el rendimiento) y gastos gubernamentales directos en proyectos concebidos para mejorar el medio ambiente. Lo mismo que los incentivos basados en el mercado, en la primera de esas estrategias se exige los contaminadores tienen que realizar actividades para disminuir la contaminación; en la segunda estrategia, el propio gobierno gasta recursos en la calidad ambiental. Ambas estrategias ocupan un lugar destacado en las medidas actuales y propuestas para abordar el cambio climático global (SIE III, 11.4)

Las normas y los códigos presentan la ventaja de que el efecto sobre las emisiones de GEI puede evaluarse, en general, *a priori*. Sin embargo, tienen el inconveniente de que los costos son con frecuencia desconocidos y pueden ser más altos que los derivados de instrumentos basados en el mercado. Ahora bien, a veces una norma sobre rendimiento puede proporcionar mayores incentivos, pero en otros casos los incentivos son también

¹⁶ En el capítulo 11 del SIE III se utiliza el término “aplicación conjunta” en el sentido de “actividades realizadas conjuntamente”, y lo mismo se hace aquí.

Cuadro 11: Presupuestos totales de IDyD comunicados por los gobiernos del OIE (columnas 1 a 7; miles de millones \$ EE.UU. a precios y tipos de cambio de 1994) y PIB (columna 8; billones \$ EE.UU. a precios de 1993).

Año	(1) Energía Fósil	(2) Fusión Nuclear	(3) Fusión Nuclear	(4) Conservación de energía	(5) Energía renovable	(6) Otras	(7) Total	(8) PIB	(9) % de PIB
1983	1,70	6,38	1,43	0,79	1,05	1,08	12,40	10,68	0,12
1984	1,60	6,12	1,44	0,70	1,02	0,99	11,88	11,20	0,11
1985	1,51	6,26	1,42	0,70	0,85	1,04	11,77	11,58	0,10
1986	1,51	5,72	1,31	0,59	0,66	0,94	10,74	11,90	0,09
1987	1,37	4,36	1,23	0,65	0,62	1,04	9,27	12,29	0,08
1988	1,46	3,64	1,13	0,53	0,62	1,19	8,58	12,82	0,07
1989	1,30	4,42	1,07	0,45	0,57	1,33	9,13	13,23	0,07
1990	1,75	4,48	1,09	0,55	0,61	1,15	9,62	13,52	0,07
1991	1,52	4,45	0,99	0,59	0,64	1,39	9,57	13,58	0,07
1992	1,07	3,90	0,96	0,56	0,70	1,28	8,48	13,82	0,06
1993	1,07	3,81	1,05	0,65	0,71	1,38	8,66		
1994	0,98	3,74	1,05	0,94	0,70	1,30	8,72		

menores para la adopción tecnológica que un sistema de permisos negociables (SIE III, 11.4.1).

Un ejemplo de medida reglamentaria en Estados Unidos es la *Public Utilities Regulatory Policy Act* (PURPA), promulgada en 1978, con la que se perseguía que las compañías de electricidad del servicio público compraran energía a productores independientes al costo evitado a largo plazo y la creación de un mercado descentralizado, competitivo. La cogeneración en pequeña y media escala mediante gas natural y biomasa se convirtió en un método tecnológico popular. En gran parte se debe a la PURPA la introducción de más de 10.000 MW_e de capacidad de energía renovable (SIE II, 19.4). Según las mismas evaluaciones, esas medidas reglamentarias pueden dar lugar a costos de electricidad más altos.

5.3.3 Acuerdos voluntarios

Los acuerdos voluntarios se refieren generalmente a medidas aplicadas en interés de los participantes y apoyadas por un gobierno con el objetivo de reducir las emisiones de GEI. En muchos países del Anexo I se considera que tales acuerdos constituyen una medida flexible. Los acuerdos pueden revestir diversas formas, a nivel nacional e internacional, y comprender arreglos basados en el objetivo y en el rendimiento, IDyD en cooperación, intercambio de información general y actividades realizadas conjuntamente.

Las compañías previsoras pueden tomar medidas para controlar las emisiones de GEI si temen controles obligatorios más costosos a falta de reducciones voluntarias. Esto puede explicar por qué han surgido algunos acuerdos voluntarios para la gestión de energía doméstica. La inmensa mayoría de las reducciones de GEI mediante acciones anunciadas o ampliadas a través del Plan de acción sobre el cambio climático de Estados Unidos, por ejemplo, se deben a iniciativas voluntarias destinadas a aumentar el rendimiento energético (SEI III, 11.4.3).

5.3.4 Investigación, desarrollo y demostración

Las elevadas tasas de innovación en el sector de la energía son un requisito previo para alcanzar los objetivos de mitigación de GEI más ambiciosos y reducir considerablemente los costos de muchas opciones tecnológicas por debajo de los niveles actuales. Sin embargo, en los últimos años se ha tendido a disminuir la inversión en IDyD de energía, tanto en el sector privado como en el público (véase el Cuadro 11 SIE II, 19.4). En el último decenio, el apoyo del sector público a la IDyD de energía ha disminuido en términos absolutos en un tercio, y a la mitad como porcentaje del PIB (SIE II, 19.4). En el pasado, más de la mitad de la IDyD apoyada por los gobiernos en los países miembros del Organismo Internacional de Energía (OIE) se asignó a la energía nuclear, y menos del 10% a la energía renovable. Junto a la conservación de energía, más del 80% de la IDyD se consagra a medidas para emisiones de GEI bajas o nulas.

Si bien en muchas opciones de mitigación en el sector de la energía se requiere más apoyo de IDyD, es importante disponer de

una estrategia gubernamental en la que no se trate de elegir ganadores tecnológicos. Afortunadamente, en muchas de las tecnologías prometedoras para reducir las emisiones, como numerosas técnicas renovables y otras tecnologías de energía con emisiones de GEI bajas o nulas, se requieren inversiones en IDyD relativamente modestas. Esto es gran parte reflejo de la pequeña escala y la modularidad de esas tecnologías (SIE II, 19.4). Como resultado, debe ser posible, incluso con limitados recursos de IDyD, apoyar una serie diversificada de opciones. Se ha estimado que para la investigación y el desarrollo de una gama de tecnologías de energías renovables se necesitarán entre 15 000 y 20 000 millones \$ distribuidos en un par de decenios (SIE II, 19.4).

Los programas de IDyD son necesarios, pero no suficientes para establecer nuevas tecnologías en el mercado. También se requieren proyectos y programas comerciales de demostración situados en contextos económicos y de organización realistas para estimular los mercados de nuevas tecnologías. En una amplia serie de tecnologías modulares en pequeña escala, como la mayoría de las tecnologías de energías renovables y células energéticas, cabe esperar que los costos de producción de energía disminuyan con el volumen de producción acumulativo, como resultado del aprendizaje empírico.

5.3.5 Medidas infraestructurales

5.3.5.1 Eliminación de obstáculos institucionales.

En algunas circunstancias, la eliminación de obstáculos institucionales debe ser un incentivo para que el sector privado utilice técnicas renovables avanzadas. La reforma reglamentaria y la desreglamentación (supresión de monopolios de productores, redes de transmisión y distribución) han permitido a productores de energía pequeños e independientes acceder a la red y mejorar su competitividad. Mediante la normalización de equipo para facilitar la conexión a la red también se mejoraría la adopción de tecnologías. En caso de adopción de tecnologías renovables avanzadas, con esas medidas se pueden reducir las emisiones de GEI.

5.3.5.2 Planificación del sistema energético

Tradicionalmente, el ámbito de las industrias del sector de la energía ha sido la producción y venta de kWh, litros de gasolina o toneladas de carbón, insistiendo en el crecimiento de la demanda de suministros de energía y la expansión eficiente de capital para responder a esa demanda, y no en la manera más eficiente de atender la creciente y mayor demanda de servicios de energía.

Algunas comisiones de reglamentación piden que las industrias del sector de la energía adopten un concepto comercial más amplio, que se extienda para abarcar la prestación de servicios de energía en vez de la venta de unidades de energía. Y, lo que es aún más importante, la eficiencia del uso final y las tecnologías se convierten en parte integrante del proceso de asignación de capital a la industria de la energía. La planificación energética se extenderá más allá de los límites del sector de

energía tradicionales, y se adoptará una perspectiva de todo el sistema energético.

Ahora bien, los sectores de los servicios públicos de la energía en países del Anexo I están procediendo actualmente a privatizaciones y dereglamentación. Estos cambios pueden ofrecer igualmente oportunidades para la mitigación de GEI, como la producción independiente de energía y CEC. Esos cambios significan asimismo que tal vez los gobiernos hayan de modificar los mecanismos utilizados para alcanzar objetivos ambientales. Por ejemplo, quizá haya que reexaminar la gestión de la demanda y la planificación integrada de recursos.

5.3.5.3 *Medidas locales y regionales sobre el medio ambiente*

El suministro y el uso final de energía suponen varios impactos ambientales a nivel local y regional. Los impactos locales comprenden la contaminación en interiores y en las ciudades. Los impactos regionales comprenden la acidificación y posibles conflictos sobre el uso de la tierra. Las políticas y medidas para mitigar los impactos ambientales locales y regionales pueden afectar a las políticas sobre la mitigación del cambio climático, con interacción de ambas. Por ejemplo, la conversión

y el uso final más eficiente de la energía reporta múltiples beneficios, pues reduce los impactos ambientales en todas las escalas. En cambio, otras políticas pueden entrañar compensaciones complejas. Algunas medidas que mejoran las condiciones ambientales regionales pueden dar lugar a emisiones de GEI más altas; por ejemplo, los depuradores de gases de combustión para reducir las emisiones de sulfuro procedentes de centrales térmicas alimentadas por carbón disminuyen la eficiencia de la conversión global y provocan mayores emisiones de carbono. Además, algunos GEI pueden tener efectos adversos para la calidad de la atmósfera local y regional (p. ej., pequeñas combinaciones de calor y energía puede no disponerse de equipo de eliminación total de SO_x y NO_x). Como hay más posibilidades de impactos regionales adversos que de impactos de cambio climático global, es probable que a corto y a medio plazo haya actividades para combatir este tipo de contaminación en muchas partes del mundo.

Por lo tanto, la combinación de políticas y medidas es necesaria para reducir los impactos ambientales globales a nivel nacional, regional y local. En particular, deben evaluarse las políticas y medidas para hacer frente a los impactos ambientales locales y regionales por lo que respecta a su posible conflicto con objetivos y políticas para reducir las emisiones de GEI.

6. SECTOR AGRÍCOLA¹⁷

6.1 Introducción

La agricultura representa aproximadamente la quinta parte de los efectos de gases termoactivos antropógenos previstos, y produce alrededor del 50 y el 70%, respectivamente, de las emisiones antropógenas globales de CH₄ y N₂O; las actividades agrícolas (no incluida la conversión de bosques) representan en torno al 5% de las emisiones antropógenas de CO₂ (SIE II, Figura 23.1). Se estima que la tierra total cultivada en el mundo es de 1 700 Mha (SIE II, 23.2.2, Cuadro 23-3).

El sector agrícola se caracteriza por grandes diferencias regionales, tanto en las prácticas de gestión como en el ritmo a que sería posible aplicar medidas de mitigación. La eficacia de las diversas medidas de mitigación ha de compararse con los niveles básicos de las emisiones y los cambios en las diversas regiones. En países que no figuran en el Anexo I donde aumentan rápidamente el uso de fertilizantes y la producción de cultivos, se prevén sustanciales incrementos de las emisiones de N₂O y CH₄. Esos aumentos no se equilibrarán siquiera aplicando plenamente medidas de mitigación. Para evaluar los cambios en las emisiones y las necesidades de mitigación se requieren análisis detallados del uso de la tierra, los sistemas de cultivo y las prácticas de gestión a nivel regional y global.

6.2 Tecnologías para reducir las emisiones de GEI en el sector agrícola

En el Cuadro 12 se muestran las tecnologías para la mitigación de GEI en la agricultura y las reducciones potenciales de las emisiones de CO₂, CH₄ y N₂O, así como las reducciones de las emisiones en equivalente de carbono de CH₄ y N₂O sobre la base de sus relaciones respectivas de potencial de calentamiento global (SIE I, Cuadro 2.9). De la posible reducción total del forzamiento radiativo (mostrado como equivalentes de C), el 32% aproximadamente puede deberse a la reducción de las emisiones de CO₂, el 42% a compensaciones de carbono mediante la producción de biocombustibles en las tierras agrícolas existentes, el 16% a la reducción de las emisiones de CH₄, y el 10% a la reducción de las emisiones de N₂O.

Mediante la reducción de las emisiones en los países del Anexo I se puede hacer una notable contribución al total global. De la mitigación potencial total de CO₂, los países del Anexo I contribuyen al 40% de la reducción de las emisiones de CO₂, y al 32% de la compensación de carbono resultante de la producción de biocombustible en tierras agrícolas. De la reducción total global de las emisiones de CH₄, los países del Anexo I pueden contribuir al 5% de la reducción atribuida a mejores tecnologías para la producción de arroz, y al 21% de las reducciones atribuidas a la mejor gestión de animales rumiantes. Esos países también pueden contribuir al 30% aproximadamente de las reducciones de las emisiones de N₂O atribuidas al menor uso, y más eficiente, de fertilizantes nitrogenados, y al 21% de las reducciones debidas a la mejor utilización de estiércoles¹⁸.

Las estimaciones de las reducciones potenciales varían mucho, y reflejan la incertidumbre en la eficacia de tecnologías recomendadas y el grado de la futura aplicación en el mundo entero. Con el fin de atender las necesidades alimentarias globales, y para que los agricultores puedan aceptarlas, las tecnologías y prácticas deben responder a las siguientes orientaciones generales: i) la producción agrícola sostenible se logrará o mejorará; ii) el agricultor obtendrá mayores beneficios, y iii) los productos agrícolas serán aceptados por los consumidores. Los agricultores carecen de incentivos para adoptar técnicas de mitigación de GEI a menos que mejore su rentabilidad. Por razones distintas de la preocupación por el cambio climático se han adoptado ya algunas tecnologías, como la agricultura sin labranza o el empleo y la periodicidad estratégicos de fertilizantes. Las opciones para reducir las emisiones, como una mejor gestión de las tierras y una mayor eficiencia en el uso de fertilizantes nitrogenados, permitirán mantener o incrementar la producción agrícola con efectos positivos para el medio ambiente.

Esos múltiples beneficios producirán una elevada rentabilidad de las tecnologías disponibles. Las prácticas que permiten recuperar el costo de la inversión y generar beneficios a corto plazo se prefieren a las que sólo permiten recuperar ese costo a largo plazo; y aquellas en que hay grandes posibilidades de obtener los beneficios esperados y deseados a aquellas en que hay menos certidumbre sobre su rendimiento. Cuando, debido a condicionamientos de recursos humanos o al conocimiento de la práctica ésta no puede adoptarse, con programas de educación del público se pueden mejorar los conocimientos y las calificaciones del personal y de los directores a fin de fomentar la adopción. Para desarrollar y difundir los conocimientos sobre mejores tecnologías hacen falta programas nacionales e internacionales completos de investigación, educación y transferencia de tecnología, y para facilitar la adopción de mejores prácticas se necesitan programas de seguros de cultivos y de otro tipo a fin de compartir el riesgo de malas cosechas a causa de desastres naturales.

6.2.1 Mitigación de las emisiones de dióxido de carbono (SIE II, 23.2)

Entre las opciones para mitigar las emisiones de CO₂ debidas a la agricultura figuran la reducción de las emisiones de las fuentes actuales, y la creación y el refuerzo de sumideros de carbono. Las opciones para conseguir una mayor función de la tierra agrícola como sumidero de CO₂ abarcan el almacenamiento

¹⁷ Esta sección se basa en el SIE II, Capítulo 23, *Agricultural Options for Mitigation of Greenhouse Gas Emissions* (autores principales: V. Cole, C. Cerri, K. Minami, A. Mosier, N. Rosenberg, D. Sauerbeck, J. Dumanski, J. Duxbury, J. Freney, R. Gupta, O. Heinemeyer, T. Kolchugina, J. Lee, K. Paustian, D. Powlson, N. Sampson, H. Tiessen, M. van Noordwijk y Q. Zhao).

¹⁸ La parte de las reducciones de las emisiones de los países del Anexo I se basa en datos de producción de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), *Anuario de Producción de 1994*, Vol. 48, Serie Estadística de la FAO, Roma, Italia.

Cuadro 12: Tecnologías agrícolas para mitigar las emisiones de GEI y posibles reducciones de las emisiones anuales de dióxido de carbono, metano y óxido nitroso (sobre la base del SIE II, Cuadros 23-4, 23-5, 23-6, 23-10 y 23-11).

Emisiones netas de dióxido de carbono	Mt C/año	
Reducción de las emisiones de CO ₂		
– Reducción del uso de energía de combustibles fósiles en la agricultura en países industrializados (reducciones previstas en el mayor uso de labranza mínima o nula, programación de los regadíos, secado de cultivos por energía solar y mejor gestión de fertilizantes) ^a	10–50	
Aumento de los sumideros de C		
– Aumento de C en el suelo mediante un mejor aprovechamiento de las tierras agrícolas existentes ^b	400–600	
– Aumento de C en el suelo mediante la reserva permanente de tierras agrícolas excedentes en regiones templadas ^c	21–42	
– Restablecimiento de C en el suelo en tierras degradadas ^d	24–240	
Producción de biomasa como compensación de C		
– Producción de biocombustible mediante cultivos especiales en tierras agrícolas existentes ^e		
• Regiones templadas	85–490	
• Regiones tropicales	160–510	
• Fajas de protección en regiones templadas	10–60	
• Agrosilvicultura tropical	46–200	
– Producción de biocombustible de restos de cosechas ^f	100–200	
POTENCIAL TOTAL DE MITIGACIÓN CO ₂	855–2 390	
Reducción de las emisiones de metano	Mt CH ₄ /año	Mt Equiv C ^g
Mejor gestión del ganado rumiante		
– Mejor equilibrio entre calidad de la dieta y nutrientes	10–35	57–202
– Mayor digestibilidad de los alimentos	1–3	6–18
– Mejor genética animal y mejor reproducción	1–6	6–36
Mejor gestión de abonos animales		
– Lagunas cubiertas	2–6.8	12–39
– Digestores	0.6–1.9	3–12
Mejores prácticas de producción de arroz		
– Gestión de regadíos ^e	3.3–9.9	19–52
– Gestión de nutrientes	2.5–15	14–87
– Nuevos cultivos y otras prácticas	2.5–10	14–58
DISMINUCIÓN POTENCIAL TOTAL DE LAS EMISIONES DE METANO	23–88	131–504
Reducción de las emisiones de óxido nitroso	Mt N ₂ O-N/año	Mt Equiv C ^h
Mayor eficiencia en el uso de fertilizantes N		
– Menor uso de fertilizantes nitrogenados (mejores tecnologías para la aplicación de nitrógeno, equilibrio entre el suministro de N y la demanda de cultivos, combinación de sistemas para maximizar la reutilización de estiércol en la producción de plantas, conservación de N de residuos de plantas en el lugar de producción, y optimización de la labranza, el regadío y el drenaje)	0.3–0.9	85–245
– Disminución de la conversión en bosques	0.06–0.17	21–47
DISMINUCIÓN POTENCIAL TOTAL DE LAS EMISIONES DE ÓXIDO NITROSO	0.4–1.1	106–292

^a Basada en el uso corriente de 3-4,5% de emisión de C fósil total (2,8 Gt C/año, OCDE, 1991) por países industrializados y en una gama de reducción arbitraria de 10-50%.

^b Suponiendo una recuperación entre la mitad y dos tercios de la pérdida histórica estimada (44 Gt) de C procedente de suelos cultivados actualmente (excluidos suelos de zonas húmedas) en un período de 50 años.

^c Basado en un secuestro de C estimado de 1,5-3 Gt en un período de 100 años, a partir de una reserva de 15% de suelos cultivados (~640 Mha), en países industrializados con excedentes de producción actuales o potenciales; las tasas anuales y acumulativas son 1 y 50%, respectivamente. Sobre la base del restablecimiento de 10-20% de la antigua superficie de zonas húmedas (8 Mha) actualmente en cultivo en regiones templadas.

^d Suponiendo un potencial de secuestro de C de 1-2 kg C/m² en un período de 50 años, con una proporción arbitraria de 10-50% de tierra entre moderadamente degradada y muy degradada (1.2x10⁹ ha globalmente).

^e Suponiendo que se disponga para biocombustibles de 10-15% aproximadamente de las tierras cultivadas en el mundo entero.

^f Basada en un 25% de recuperación de restos de cosechas y en hipótesis sobre conversión y sustitución de energía.

^g Equivalente en C de las emisiones de CH₄ sobre la base de un PCG de 100 años (SIE I, Cuadro 2.9).

^h Equivalente en C de las emisiones de N₂O sobre la base de un PCG de 100 años (SIE I, Cuadro 2.9).

de carbono en suelos gestionados y el secuestro de carbono tras la reversión de las tierras agrícolas excedentes a ecosistemas naturales. Sin embargo, el secuestro de carbono en el suelo tiene una capacidad finita en un período de 50 a 100 años, mientras se establecen nuevos niveles de equilibrio de materia orgánica en el suelo. Los esfuerzos para aumentar los niveles de carbono en el suelo tienen beneficios adicionales en cuanto a mejora de la productividad y sostenibilidad de sistemas de producción agrícola. Los suelos de tierras agrícolas excluidos de la producción como reservas permanentes y que vuelven finalmente a la vegetación natural pueden alcanzar niveles de carbono comparables a la condición previa al cultivo. Si se consideran las 640 Mha de tierra actualmente cultivada en Estados Unidos, Canadá, la ex Unión Soviética, Europa, Australia y Argentina, y se supone una recuperación para el cultivo del carbono en el suelo perdido originalmente para el cultivo, con una reserva permanente de 15% de la tierra agrícola se pueden secuestrar 1,5-3 Gt C (en un período de 50-100 años).

La reversión o forestación en gran escala de tierra agrícola sólo es posible si en la superficie restante se pueden obtener suministros adecuados de alimentos, fibra y energía. Esto puede hacerse actualmente en la Unión Europea y en Estados Unidos mediante sistemas agrícolas intensivos. Sin embargo, si la intensidad del laboreo cambia en razón de preocupaciones ambientales o modificaciones de política, quizás ya no se disponga de esa opción de mitigación.

En la actualidad, sólo la mitad de la conversión de los bosques tropicales con fines de cultivo contribuye a un aumento de la tierra agrícola productiva. La única manera de romper ese ciclo es mediante un uso más sostenible, una mejor productividad de las tierras de labranza existentes y una mejor protección de los ecosistemas autóctonos. Esas prácticas pueden ayudar a reducir la expansión agrícola (y por la tanto la deforestación) en zonas húmedas, especialmente en América Latina y en África.

Las prácticas de gestión para aumentar las existencias de carbono en el suelo comprenden menos labranza, un rendimiento de los restos de cosechas, cultivos perennes (incluida la agro-silvicultura), y una menor frecuencia de completo barbecho. Sin embargo, el mejoramiento de la gestión del suelo en gran parte de las zonas tropicales tropieza con obstáculos económicos, educativos y sociológicos. Muchos agricultores de esas regiones no disponen de recursos para comprar insumos como fertilizantes y herbicidas, o tienen un limitado acceso a ellos. Con frecuencia se necesitan residuos de cosechas para alimentar el ganado, como combustible o para otros usos domésticos, por lo que se reducen las aportaciones de carbono al suelo. Los beneficios de la mitigación de CO₂ disminuirán en la medida en que la mejor gestión se base en un notable aumento del consumo de combustibles fósiles.

El uso de la energía por la agricultura, por unidad de producción agrícola, ha disminuido desde el decenio de 1970. El uso de combustibles fósiles en la agricultura en países industrializados del Anexo I, que constituye el 3-4% del consumo global, puede reducirse mediante una labranza mínima, la programación de

los regadíos, el secado por energía solar de los cultivos y una mejor utilización de los fertilizantes.

Los cultivos convencionales de alimentos y fibras y los cultivos dedicados a biocombustibles, como cultivos leñosos de rotación acelerada y cultivos de energía de plantas herbáceas perennes, producen biomasa, valiosa como materia prima para el suministro de energía. Los cultivos dedicados a biocombustibles, en los que se requieren suelos y prácticas de gestión similares a los empleados en los cultivos agrícolas tradicionales, pueden competir con la producción de alimentos para recursos limitados (SIE II, 23.2.4). El grado en que aumentará su producción depende del desarrollo de nuevas tecnologías, de su competitividad económica con los cultivos de alimentos y fibras tradicionales, y de las presiones sociales y políticas. Las plantas dedicadas a energía, incluidos los aprovechamientos leñosos de rotación acelerada, los cultivos de energía de plantas herbáceas perennes y anuales como los cultivos de cereales en plantas enteras o kenaf, pueden crecer en forma sostenible en un 8-11% de la tierra agrícola considerada entre marginal y buena en la zona templada. Por ejemplo, en la Unión Europea se ha estimado que 15-20 Mha de buena tierra agrícola quedará excedente para las necesidades de producción de alimentos en el año 2010. Esto equivaldría a 20-30% de la superficie actual de tierra de cultivo.

Debido a la creciente demanda agrícola en las regiones tropicales, es probable que un porcentaje inferior de tierra se dedique a cultivos de energía, por lo que una estimación razonable puede ser de 5 a 7%. Sin embargo, en total, puede haber una considerable cantidad de tierra disponible para la producción de biocombustible, sobre todo tierra marginal y tierra que es preciso rehabilitar. Las posibilidades de mitigación de CO₂ de un programa de biocombustibles agrícolas global en gran escala podrían ser importantes. Suponiendo que se ponga a disposición el 10-15% de la superficie de tierra agrícola mundial, se ha estimado que las sustituciones de combustibles fósiles pueden situarse en la gama de 300-1 300 Mt C. Esto no comprende los efectos indirectos de la producción de biocombustible aumentando el almacenamiento de carbono en biomasa leñosa estable o el secuestro de carbono en el suelo. Con la recuperación y conversión del 25% de los restos de cosechas totales (retornando el 75% al suelo) es posible sustituir 100-200 Mt más de C/año de combustibles fósiles. Sin embargo, es menester considerar las posibles compensaciones de las mayores emisiones de N₂O. En general, los cultivos de los que sólo se utiliza el aceite, la fécula o el azúcar tienen limitado valor para reducir las emisiones de CO₂, debido a la poca energía neta producida y a los insumos de combustibles fósiles requeridos, relativamente altos. Con la combustión de biomasa en plantas enteras como alternativa al combustible fósil se obtiene la mayor mitigación de CO₂.

Las gamas en las estimaciones de la posible mitigación reflejan la incertidumbre sobre la eficacia de las opciones de gestión y el grado de futura aplicación, globalmente. Una cuestión primordial al evaluar tales opciones es si el mundo podrá seguir soportando un aumento de la población con sus crecientes necesidades de alimentos y de fibras y ampliar, al mismo

Cuadro 13: Ejemplos seleccionados de opciones técnicas para mitigar las emisiones de GEI en el sector agrícola.

Opciones técnicas	Medidas	Efectos climáticos y otros efectos ambientales	Efectos económicos y sociales	Consideraciones administrativas, institucionales y políticas
Reducir el uso de energía de combustibles fósiles – Reducir la labranza – Reducir el uso de fertilizantes – Programación de los regadíos – Secado por energía solar	Programas basados en el mercado – Impuestos sobre combustibles agrícolas Acuerdos voluntarios – Transferencia de tecnología	Beneficios para el clima – Reducción de las emisiones de CO₂ en 10-50 Mt C/año	Cuestiones macroeconómicas – Reducción de los costos del combustible y de los fertilizantes	Factores administrativos/institucionales – La cooperación de organismos gubernamentales y la integración de programas agrícolas es esencial Factores políticos – Determinación de impuestos
Aumentar el almacenamiento de C en tierras agrícolas – Reducir la labranza – Mejorar el tratamiento de residuos – Restablecer la productividad de suelos degradados – Aumentar la reserva permanente en regiones templadas	Acuerdos voluntarios – Modificación de programas de productos básicos para lograr mayor flexibilidad y apoyo de mejores prácticas de gestión – Transferencia de tecnología	Beneficios para el clima – Más almacenamiento de C en 440-880 Mt C/año Otros efectos – Menor erosión del suelo – Mayor producción de alimentos considerando todas las opciones	Rentabilidad – El mayor costo de los herbicidas se compensa con la menor necesidad de mano de obra Cuestiones macroeconómicas – Reducción de los costos del combustible	Factores administrativos/institucionales – La cooperación de organismos gubernamentales y la integración de programas agrícolas es esencial – La disponibilidad de créditos puede ser una limitación
Aumentar la producción de biocombustible como compensación de C – Cultivos dedicados a leña con rotación acelerada y cultivos de energía herbácea en las tierras agrícolas existentes – Biocombustibles de restos de cosechas	Programas basados en el mercado – Fijación de precios de la energía – Supresión de obstáculos al mercado	Beneficios para el clima – Compensación de C fósil de 400-1.460 Mt C/año – Menor almacenamiento de C en el suelo	Cuestiones macroeconómicas – Costos más altos de la electricidad – Con la competencia por tierras agrícolas limitadas aumentarán los precios de la tierra y posiblemente los precios de los alimentos	Factores políticos – Oposición general de grupos agrícolas tradicionales – Posibles efectos negativos sobre la producción de alimentos políticamente sensible
Mejorar la gestión de animales rumiantes – Aumentar la digestibilidad de los alimentos – Mejorar la genética animal y la fertilidad	Medidas reglamentarias – Reglamentación de la densidad animal	Beneficios para el clima – Reducción de las emisiones de CH₄ en 12-44 Mt CH₄/año Otros efectos – Menos contaminación de nutrientes	Cuestiones macroeconómicas – Necesidad de directores formados y transferencia de tecnología	Factores políticos – Preocupación especial en zonas de elevada densidad animal, como en países del Anexo I
Adoptar prácticas de gestión de estiércol para la recogida de CH₄ – Lagunas cubiertas y generadoras de biomasa	Acuerdos voluntarios – Transferencia de tecnología	Beneficios para el clima – Reducción de las emisiones de CH₄ en 3-9 Mt CH₄/año	Rentabilidad – Reducción de costos mediante la disponibilidad de energía local	Factores administrativos/institucionales – La transferencia internacional de tecnología es necesaria
Mejorar las prácticas de producción de arroz – Aprovechamiento del agua – Gestión de nutrientes – Nuevos cultivos con poco metano	Acuerdos voluntarios – Transferencia de tecnología	Beneficios para el clima – Reducción de las emisiones de CH₄ en 8-35 Mt CH₄/año	Cuestiones de equidad – Dificultad estacional para asignar agua	Factores administrativos/institucionales – La coordinación regional de la programación del agua es necesaria
Aumentar la eficiencia en el uso del fertilizante N – Mejorar los métodos de aplicación – Adaptar el suministro de N a las necesidades de los cultivos – Maximizar el uso de estiércol – Optimizar la labranza, la irrigación, y el drenaje	Programas basados en el mercado – Impuestos sobre el uso de fertilizantes N Medidas reglamentarias – Limitación del uso de fertilizantes	Beneficios para el clima – Reducción de las emisiones de N₂O en 0,4-1,1 Mt N₂O-N/año Otros efectos – Mejor calidad del agua	Rentabilidad – Compensación de costos reduciendo las necesidades de N	Factores políticos – Los posibles efectos negativos sobre la producción de alimentos es una cuestión políticamente sensible

tiempo, la cantidad de tierra utilizada para la producción de biomasa con fines de energía (SIE II, 23.2.5, 25.3.3).

6.2.2 Mitigación de las emisiones de metano (SIE II, 23.3.1.1)

Las fuentes agrícolas más importantes de CH_4 son los animales rumiantes y la producción de arroz gestionados. El cultivo de arroz seguirá aumentando a su ritmo actual para atender las necesidades alimentarias. Los arrozales inundados producen emisiones de CH_4 , que pueden reducirse mejorando las medidas de gestión. Las gamas de reducciones potenciales evocadas indican incertidumbres sobre la eficacia de las medidas de mitigación y el grado de aditividad de efectos; por ejemplo, en la producción de arroz. La aplicación con éxito de las tecnologías de mitigación de que se disponga dependerá de la demostración de que: i) el rendimiento de los cereales no disminuya, o incluso pueda aumentar; ii) haya economías en mano de obra, agua y otros costos de producción; iii) los cultivos de arroz que produzcan menos emisiones de CH_4 sean aceptables para los consumidores locales.

Las emisiones de CH_4 resultantes de animales rumiantes domésticos pueden reducirse si los productores utilizan mejores sistemas de pastoreo y un pasto de mejor calidad, pues los animales que pastan en tierras de mala calidad producen más CH_4 por unidad de alimento consumido. Con operaciones de alimentación limitadas en que se utilicen raciones equilibradas para lograr una digestión adecuada de alimentos de mucha energía también se pueden reducir las emisiones directas, pero con la posibilidad de aumentar las emisiones indirectas resultantes de la producción y el transporte de alimentos. El CH_4 producido en sistemas de eliminación de desechos animales puede proporcionar un suministro de energía sobre el terreno, y el CH_4 así utilizado no pasa a la atmósfera. En general, la reducción global potencial de emisiones de CH_4 representa aproximadamente el 35% (15-56%) de las emisiones resultantes de la agricultura.

6.2.3 Mitigación de emisiones de óxido nitroso (SIE II, 23.3.1.2)

El nitrógeno es un nutriente vegetal esencial; sin embargo, es también un elemento de los compuestos más móviles en el sistema suelo-planta-atmósfera. Como el nitrógeno es el principal componente del fertilizante mineral, cada vez hay más preocupación por el grado en que la agricultura de elevado insumo carga compuestos de nitrógeno en el medio ambiente. La presupuestación de nitrógeno, o un método de equilibrio insumo/producto, ofrece una base para políticas que permitan mejorar la gestión del nitrógeno en los sistemas agropecuarios, y para mitigar sus efectos sobre el medio ambiente. Aplicando sistemas de gestión puede reducirse la cantidad de nitrógeno que pasa al medio ambiente a través de pérdidas gaseosas de amoníaco o N_2O , o lixiviación de nitrato en el subsuelo. En algunos casos se logra una mayor eficiencia utilizando menos fertilizantes; en otros, se puede lograr aumentando los rendimientos a los mismos niveles que el nitrógeno.

Las fuentes primarias de N_2O procedente de la agricultura son los fertilizantes minerales, el cultivo de legumbres y los desechos

animales. Esas pérdidas se aceleran muchas veces a causa de las deficientes condiciones físicas del suelo. También se emite algún N_2O de la combustión de biomasa. Merced a mejoras de las técnicas agrícolas, como el uso de fertilizantes de liberación controlada, inhibidores de nitrificación, el momento de la aplicación de nitrógeno, y la gestión del agua, se deben lograr también mejoras en el uso eficiente del nitrógeno y una mayor limitación de formación de N_2O . El concepto en que se basa la reducción de las emisiones de N_2O es que utilizando mejor en el cultivo el nitrógeno del fertilizante (incluido el nitrógeno de estiércol), se producirá menos N_2O y se escapará del sistema menos nitrógeno. Equilibrando mejor el suministro de nitrógeno con la demanda del cultivo e integrando más íntimamente la gestión de desechos animales y de residuos de cosechas con la producción agrícola se podrán disminuir las emisiones de N_2O aproximadamente en 0,36 Mt $\text{N}_2\text{O-N}$, o el 17% (9-26%) de la proporción de la emisión actual en la agricultura.

6.3 Medidas para reducir las emisiones de GEI en el sector agrícola

Entre las medidas que pueden tener efectos significativos para la mitigación de GEI en el sector agrícola figuran las siguientes (para opciones técnicas, a título de ejemplo, véase el Cuadro 13):

- Programas basados en el mercado (p. ej., reducción y reforma de políticas de apoyo a la agricultura; impuestos sobre el uso de fertilizantes nitrogenados; subvención de la producción y uso de energía de biomasa);
- Medidas reglamentarias (p. ej., limitaciones del uso de fertilizantes nitrogenados; conformidad mutua entre apoyo agrícola y objetivos ambientales);
- Acuerdos voluntarios (p. ej., prácticas de aprovechamiento del suelo que mejoran el secuestro de carbono en tierras agrícolas);
- Programas internacionales (p. ej., apoyo a la transferencia de tecnología en la agricultura).

En general, los principales objetivos de muchas de estas medidas no están relacionados exclusivamente con cuestiones del cambio climático, sino con fines como la reducción de la contaminación del medio ambiente y la degradación de recursos naturales. Los gobiernos pueden fomentar el uso más eficiente de fertilizantes modificando programas de productos básicos para permitir una mayor flexibilidad y alentar a los agricultores a plantar cultivos y a adoptar prácticas en que sean menos necesarios los fertilizantes comerciales. El apoyo y el estímulo de las mejores prácticas de gestión para reducir la degradación de las tierras y la contaminación del medio ambiente se conformaría a medidas de mitigación para la reducción de GEI.

Con medidas para estimular mejores prácticas de aprovechamiento de la tierra se puede aumentar el almacenamiento de carbono. Éstas pueden comprender disposiciones de reservas permanentes para tierras marginales y degradadas. Podrían establecerse incentivos para la gestión de tierras agrícolas en forma sostenible e inocua para el medio ambiente. En los programas gubernamentales se puede apoyar la elaboración de prácticas para mantener o aumentar los rendimientos de los cultivos y reducir las emisiones por unidad de rendimiento.

7. SECTOR FORESTAL¹⁹

7.1 Introducción

Los bosques son a la vez sumidero y fuente de CO₂ atmosférico. Absorben carbono por fotosíntesis, pero emiten carbono por descomposición y por la quema de árboles debida a causas antropógenas y naturales. La gestión de los bosques para conservar y aumentar su carbono almacenado ayudará a reducir la tasa de aumento de CO₂ en la atmósfera y estabilizar las concentraciones atmosféricas. Aunque algunas tierras degradadas no sean apropiadas para la silvicultura, existe un considerable potencial de mitigación mejorando la gestión de tierras forestales para la conservación, almacenamiento y sustitución de carbono, acordes con otros objetivos. En esta sección se describen las prácticas y medidas forestales nacionales y los proyectos y programas internacionales que pueden aplicarse con éxito para alcanzar este objetivo²⁰.

Los bosques cubren actualmente unas 3,4 Gha en el mundo entero, con el 52% de los bosques en bajas latitudes (aproximadamente 0-25°N y °S), el 30% en altas latitudes (aproximadamente 50-75°N y °S), y el 18% en latitudes medias (aproximadamente 25-50°N y °S) (SIE II, 24.2.1). Los bosques mundiales almacenan grandes cantidades de carbono, con unas estimaciones de 330 Gt C en vegetación viva y muerta sobre tierra y bajo tierra, y 660 Gt C en el suelo (suelo mineral mas horizonte orgánico) (SIE II, 24.2.2). También se almacena una cantidad desconocida de carbono en productos de madera, edificios, muebles y papel.

Actualmente se estima que los bosques de latitudes altas y medias constituyen un sumidero neto de carbono del orden de 0,7±0,2 Gt C/año, y que los bosques de latitudes bajas constituyen una fuente neta de carbono de 1,6±0,4 Gt C/año, debido sobre todo a la tala y degradación de los bosques (SIE II, 24.2.2). Estos sumideros y fuentes pueden compararse con la liberación de carbono resultante de la quema de combustibles fósiles, que se estimaba en 1990 en 6 Gt C.

7.2 Tecnologías para reducir las emisiones de GEI en el sector forestal

Las prácticas de ordenación forestal que pueden limitar la tasa de aumento de CO₂ en la atmósfera pueden agruparse en tres categorías: i) ordenación para la conservación de carbono; ii) ordenación para el secuestro y almacenamiento de carbono, y iii) ordenación para la sustitución de carbono. Las prácticas de conservación comprenden opciones como el control de la deforestación, la protección de los bosques en reservas, la modificación de los regímenes de explotación y el control de otras perturbaciones antropógenas, como los incendios y los brotes de plagas. Las prácticas de secuestro y almacenamiento comprenden la expansión de ecosistemas forestales aumentando la superficie y/o la biomasa y la densidad de carbono en el suelo de bosques naturales y de plantaciones, y aumentando el almacenamiento en productos de madera duraderos. Con las prácticas de sustitución se trata de aumentar la transferencia de carbono de biomasa

forestal en productos, en vez de utilizar energía y productos basados en combustibles fósiles, productos a base de cemento y otros materiales de construcción distintos de la madera.

La superficie de tierra forestal disponible para aplicar opciones de ordenación forestal con fines de conservación y secuestro de carbono depende de que la tierra sea técnicamente apropiada para el crecimiento de árboles y de la disponibilidad real condicionada por circunstancias socioeconómicas. Según la documentación examinada para el SIE (SIE II, 24.4.2.2), globalmente se podría disponer de 700 Mha de tierra para la conservación y el secuestro de carbono (345 Mha para plantaciones y silvicultura, 178 Mha para frenar la deforestación tropical, y 217 Mha para la regeneración natural y asistida). En el Cuadro 14 se da una estimación del potencial global para conservar y secuestrar carbono, sobre la base de los estudios anteriores. Las regiones tropicales ofrecen posibilidades para conservar y secuestrar la mayor cantidad de carbono (80% del potencial total), seguidas de las zonas templadas (17%) y las zonas boreales (3%). La regeneración natural y asistida y la disminución de la deforestación representan más de la mitad de la cantidad en los trópicos. La repoblación forestal y la agrosilvicultura contribuyen al resto del sumidero tropical, y sin esos esfuerzos lo más probable es que no se pudiera lograr la regeneración ni reducir la deforestación.

Los escenarios muestran que las tasas anuales de conservación y secuestro de carbono como resultado de todas las prácticas mencionadas aumentan con el tiempo (SIE II, 24.4.2.2). Las economías de carbono debidas a la menor deforestación y a la regeneración son inicialmente las más altas, pero a partir de 2020 las plantaciones secuestran prácticamente las mismas cantidades, pues alcanzan la máxima acreción de carbono (véase la Figura 3). A escala mundial, los bosques pasarán de fuente global a sumidero en 2010 aproximadamente, en que la deforestación tropical se compensará con el carbono conservado y secuestrado en todas las zonas.

Utilizando el costo medio de establecimiento o los costos iniciales para distintas opciones por región latitudinal, el costo acumulativo (sin redescuento) para conservar y secuestrar la cantidad de carbono que se muestra en el Cuadro 14 varía de unos 250 000-300 000 millones \$ a un costo unitario medio comprendido entre 3,7 y 4,6 \$/t C (SIE II, 24.5.4). El costo unitario medio disminuye con la mayor cantidad de carbono conservado reduciendo la deforestación y ayudando a la regeneración, pues estas son las opciones menos costosas.

¹⁹ Esta sección se basa en el SIE II, Capítulo 24, *Management of Forests for Mitigation of Greenhouse Gas Emissions* (autores principales: S. Brown, J. Sathaye, M. Cannell, y P. Kauppi)

²⁰ Las tecnologías, políticas y medidas de mitigación para reducir las emisiones de GEI procedentes de pastizales, desiertos y tundra se encuentran en una fase incipiente, y todavía no se han evaluado a fondo las opciones de mitigación en estos sectores, por lo que no se tratan en el presente informe.

Cuadro 14: Carbono global que puede secuestrarse y conservarse, y costos conexos (1995–2050).

(1) Zona Latitudinal	(2) Medida	(3) C Secuestrado o conservado (Gt C) ^a	(4) Costo (\$ EE.UU./t C) ^b	(5) Costo total (10 ⁹ \$ EE.UU.) ^c
Alta	Forestación	2.4	8 (3–27)	17
Media	Forestación	11.8	6 (1–29)	60
	Agrosilvicultura	0.7	5	3
Baja	Forestación	16.4	7 (3–26)	97
	Agrosilvicultura	6.3	5 (2–12)	27
	Regeneración	11.5–28.7	2 (1–2)	
	Reducción de la forestación	10.8–20.8	2 (0.5–15)	44–97 ^d
	TOTAL	60–87	3.7–4.6 (1–29)	250–300

Fuente: SIE II, Cuadros 24-5, 24-8 y 24-9.

^a Comprende el C de la vegetación sobre tierra y bajo tierra, el suelo y la hojarasca.

^b Costo de establecimiento o inicial (sin redescuento). Media de las estimaciones comunicadas en las publicaciones. En la mayoría de las estimaciones no están incluidos los costos de la tierra, la infraestructura, las cercas de protección, la educación y la formación. Las cifras entre paréntesis indican la gama de estimaciones de costos.

^c Las cifras de costo de la columna 4 corresponden a t de C en la vegetación. Los costos totales (columna 5) son, pues, inferiores a la cifra obtenida multiplicando t C en la columna 3 por \$/t C en la columna 4.

^d Medidas para frenar la deforestación y mejorar la regeneración combinadas.

Suponiendo un tipo de redescuento anual de 3%, esos costos disminuyen a 77 000–99 000 millones \$, y el costo unitario medio a 1,2–1,4 \$/t C. Los costos de la tierra y los costos del establecimiento de la infraestructura, las cercas de protección, la educación y la formación no se incluyen en estas estimaciones.

Aunque la incertidumbre en las estimaciones anteriores probablemente sea grande, las tendencias de las opciones y latitudes parecen consistentes. Los factores que originan incertidumbre son la disponibilidad de tierra estimada para proyectos de deforestación y programas de regeneración, el ritmo al que realmente puede reducirse la deforestación tropical, y la cantidad de carbono que puede conservarse y secuestrarse en bosques tropicales. En resumen, las políticas destinadas a fomentar los esfuerzos de mitigación en la zona tropical tal vez sean las más compensatorias, en vista del importante potencial de conservación y secuestro de carbono en los bosques tropicales. Las destinadas a la deforestación en la zona templada también serán importantes.

7.3 Medidas para reducir las emisiones de GEI en el sector forestal

Las prácticas de ordenación forestal con mayores posibilidades de conservación y secuestro de carbono abarcan (por orden decreciente de importancia) desde la disminución de la deforestación y la ayuda para la regeneración en las regiones tropicales hasta planes de forestación y agrosilvicultura en zonas tropicales y templadas (Cuadro 14). Siempre y cuando los planes de forestación permitan producir madera para poder sustituir materiales basados en combustibles fósiles y energía,

su beneficio de carbono se multiplicará. En los siguientes puntos se examinan las medidas correspondientes a la aplicación de cada tipo de práctica.

7.3.1 Disminución de la deforestación y ayuda para la regeneración

Las causas de la deforestación abarcan desde la tala de tierras forestales para la agricultura, la extracción de minerales y los embalses hidroeléctricos hasta la degradación de los bosques para obtener leña. La tierra descuajada con fines agrícolas puede perder finalmente su fertilidad y ser sólo adecuada como pastizal. Las presiones socioeconómicas y políticas, con frecuencia debidas a la necesidad de mejorar las condiciones de vida de la población en zonas marginales a niveles de subsistencia, son los principales factores de la deforestación en gran parte de las regiones tropicales (SIE II, 24.3.1.1). Por otro lado, en Brasil, los inversores ricos son importantes agentes de deforestación, pues descuajan la tierra para ranchos de ganado que muchas veces derivan parte de su atractivo económico de la especulación de la tierra.

Las medidas y políticas relacionadas y no relacionadas con los bosques han contribuido a la deforestación. Comprenden contratos de corta duración en los que se especifican cantidades de explotación anuales y métodos de explotación deficientes, lo que alienta a los contratistas a proceder a la explotación sin considerar la duración de la concesión. También inducen a la deforestación las estructuras de cánones que proporcionan a los gobiernos demasiado pocos ingresos para realizar una repoblación forestal adecuada a fin de detener la degradación de los

bosques después de la explotación. Las políticas no forestales que llevan a la intrusión física directa de bosques naturales son otra de las causas fundamentales de la despoblación forestal. Entre ellas figuran las políticas de tenencia de la tierra que asignan derechos de propiedad a personas privadas sobre la base de "mejoras" mediante deforestación, programas de asentamientos, inversiones para fomentar diques y extracción de minerales, y bonificaciones y deducciones fiscales para la cría de ganado.

En el cuadro 15 se muestran las medidas cuya aplicación con éxito reduciría la deforestación y ayudaría a la regeneración de biomasa. Cada una de esas medidas permitirá de conservar biomasa, que probablemente tenga una elevada densidad de carbono, y mantener o mejorar la biodiversidad actual, el suelo y los beneficios de las cuencas hidrológicas. Los costos de capital de esas medidas son bajos, salvo en el caso de la madera reciclada,

en que ese costo depende del producto que se recicle. Con las dos primeras medidas probablemente se reduzca el empleo sectorial (agricultura), al disminuir la deforestación. Si las subvenciones se invierten debidamente, se podrán generar empleos en otras partes de la economía para compensar esa pérdida. La ordenación forestal sostenible puede dar actividad económica y empleo a largo plazo. Para aplicar una legislación de conservación de los bosques se requiere un firme apoyo político, y tal medida puede suponer una pesada carga administrativa. La supresión de subvenciones puede dar lugar a una fuerte oposición de intereses creados. La ejecución conjunta de proyectos ha tardado en despegar, pues los costos de transacción previstos son elevados y es difícil obtener recursos financieros cuando el principal beneficio es el secuestro de carbono. Si bien la ordenación forestal sostenible es políticamente atractiva, para aplicarla hay que contar con la participación local, el establecimiento de tenencia de la tierra y derechos, abordar problemas por

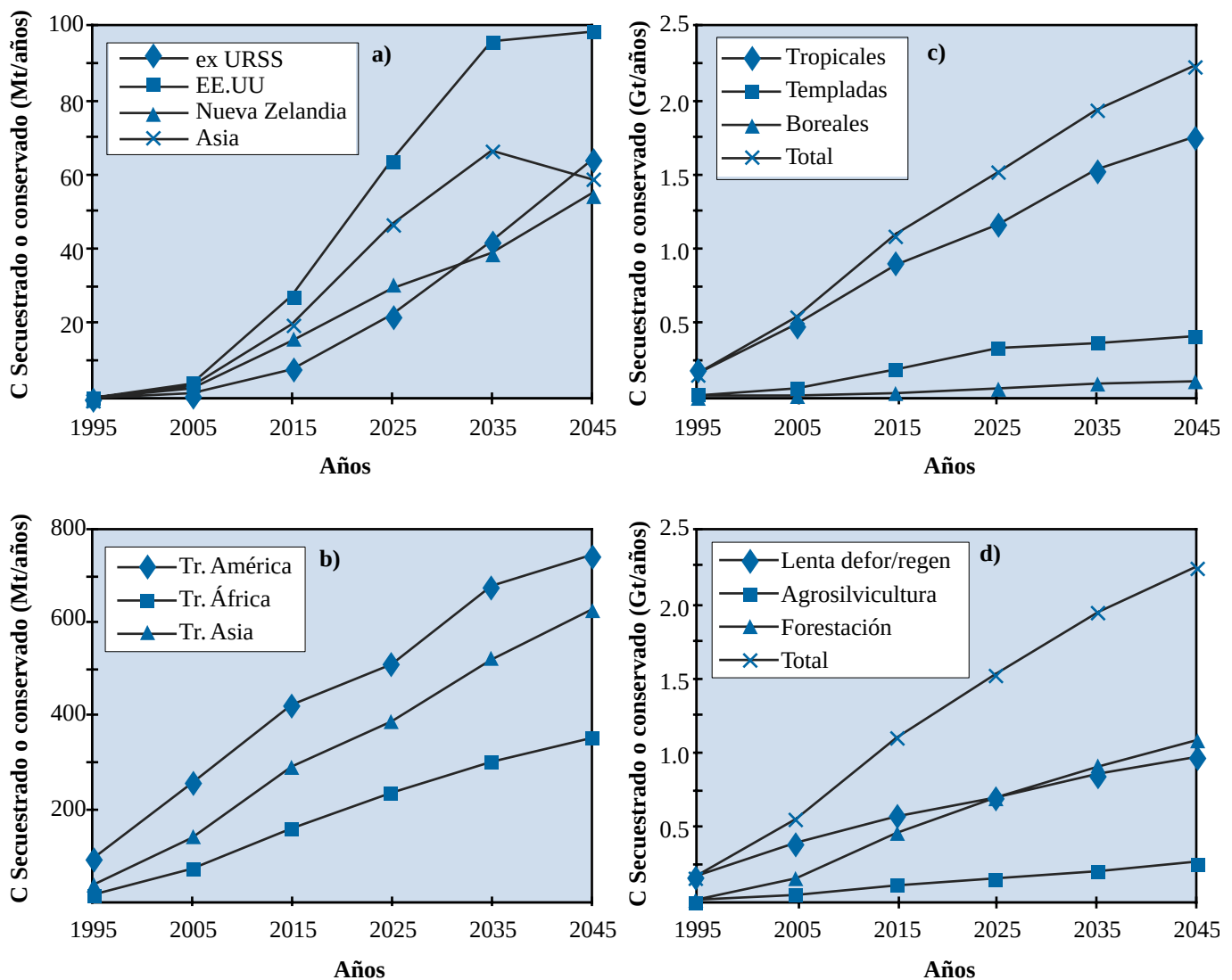


Figura 3: Tasas anuales medias de conservación y secuestro de carbono por decenio mediante la aplicación de las opciones de ordenación forestal enumeradas en el Cuadro 14: a) por cuatro países o regiones de latitudes altas y medias con las más elevadas tasas de secuestro total; b) para las tres regiones tropicales (Tr.); c) la región latitudinal y d) la práctica de la ordenación forestal. Obsérvese que Defor = deforestación, y Regen = regeneración natural y asistida (SAR II, 24.4.2.2, Figuras 24-1 y 24-2).

Cuadro 15: Ejemplos seleccionados de medidas para mitigar las emisiones de GEI mediante reducción de la deforestación y ayuda para la regeneración

Opciones técnicas	Medidas	Efectos climáticos y otros efectos ambientales	Efectos económicos y sociales	Consideraciones administrativas, institucionales y políticas
Prácticas/Objetivos forestales – Reducir los desechos forestales y la combustión en la agricultura/ganadería – Aumentar la vigilancia sobre el terreno y por satélite – Reducir los incendios forestales – Mejorar las medidas sobre límites – Mejorar las técnicas de explotación forestal	Programas basados en el mercado – Proyectos de aplicación conjunta con financiación bilateral y multilateral (aplicable igualmente a los proyectos de forestación y gestión de sustitución) – Fomento de la ordenación forestal sostenible Medidas reglamentarias – Promulgar legislación sobre conservación de los bosques (incluidas prohibiciones sobre explotación) – Eliminar subvenciones para actividades que estimulen la deforestación (cría de ganado, minería, agricultura, etc.)	Beneficios para el clima – Mantener la densidad de C, hasta 300 t C/ha Otros efectos – Mantener la biodiversidad, la conservación del suelo, y beneficios para las cuencas hidrológicas	Rentabilidad – Los beneficios monetarios de las ventas de productos pueden compensar los costos Cuestiones macroeconómicas – Bajo costo de capital, elevado costo de oportunidad – Menos gastos gubernamentales – Mayor inversión extranjera – Más transferencia de tecnología – Más costos de explotación además de la ordenación forestal habitual Cuestiones de equidad – Preocupación por la pérdida de soberanía sobre la propiedad de la tierra – Pérdida de empleos sectoriales, pero creación de empleos duraderos – Los posibles beneficios equitativos dependen del método de aplicación	Factores administrativos/institucionales – La aplicación supone una elevada carga – Más costos de transacción – Falta de acceso a financiación apropiada – Incertidumbre sobre el control y la verificación – Necesidad de compromiso y participación locales; derechos de tenencia mejor definidos; consideración explícita de los problemas por razones de sexo y de equidad, y desarrollo de mecanismos institucionales para valorar la escasez – Las iniciativas globales como las de la OIMT pueden reforzar el método de ordenación sostenible de los bosques Factores políticos – Se requiere un fuerte apoyo político – Fuerte oposición de derechos adquiridos
Conservación y sustitución de leña – Mejores estufas – Hornos de carbón vegetal	Programas basados en el mercado – Incentivos a la inversión Medidas reglamentarias – Concesión de licencias/reglamentación de normas IDyD – Investigación, desarrollo, demostración y difusión por el Gobierno	Beneficios para el clima – Mantener la densidad de C, hasta 300 t C/ha – Potencial para reducir la parte extraída no sostenible de $1,27 \times 10^9$ m³ de leña	Cuestiones macroeconómicas – Costo más alto de estufas eficientes Cuestiones de equidad – Creación de empleo rural duradero – Alivio del trabajo pesado de las mujeres y mejora de la salud – Reducción del tiempo y el costo del acopio de leña	Factores administrativos/institucionales – Comercialmente viables – Muchas posibilidades de réplica – Necesidad de superar barreras culturales (puede ser necesario establecer mercados formales de estufas) Factores políticos – Políticamente aceptables
Utilización de productos de la madera reciclados y más eficientes	Programas basados en el mercado – Incentivos fiscales a la industria Medidas reglamentarias – Etiquetado de productos IDyD – Campañas de sensibilización del consumidor	Beneficios para el clima – Mantener la densidad de C, hasta 300 t C/ha Otros efectos – Mantener la biodiversidad, la conservación del suelo, y beneficios para las cuencas hidrológicas – Para el reciclado, tal vez haya que eliminar contaminantes debidos a productos de madera tratados	Rentabilidad – El costo del reciclado y el uso más eficiente dependen del producto Cuestiones macroeconómicas – Beneficio monetario del uso más productivo de la madera	Factores administrativos/institucionales – Fácilmente replicables – Algunos costos administrativos Factores políticos – Políticamente atractivos

razones de sexo y de equidad, y desarrollar mecanismos institucionales para evaluar la escasez; la combinación de estos factores puede entrañar elevados costos administrativos.

Aunque parezca difícil reducir las tasas de deforestación en las regiones tropicales, hay muchas posibilidades para lograr considerables reducciones, y en algunos países, como Brasil, la India y Tailandia, los gobiernos han adoptado medidas y políticas concretas para detener en mayor grado la deforestación (SIE II, 24.3.1.1). Por ejemplo, en junio de 1991, el Gobierno brasileño promulgó un decreto (Nº 151) por el que se suspendía la concesión de incentivos fiscales a nuevos proyectos de ganadería en las zonas boscosas amazónicas con el fin de reducir más la tasa anual de deforestación (que, como consecuencia de la recesión económica, había disminuido de 2 Mha/año en 1978-88 a 1,1 Mha en 1990-91). Si bien todavía no se conocen los efectos a largo plazo de este decreto, en caso necesario podrán aplicarse medidas adicionales.

Además de las medidas nacionales, se están preparando proyectos de protección apoyados por gobiernos extranjeros, organizaciones no gubernamentales y compañías privadas para detener la deforestación y conservar y/o secuestrar carbono. En virtud del Proyecto de Preservación del Río Bravo y Ordenación Forestal de Belice, aprobado en el marco de la *Initiative on Joint Implementation* (IJI) de Estados Unidos se adquirirá una parcela de 6 000 ha de tierra forestal en peligro para impedir

que dos comarcas adyacentes se conviertan en tierra de labranza, con lo que se estima que se secuestrarán 3 Mt C. Entre los participantes figuran *Wisconsin Electric Power Company*, *The Nature Conservancy*, *Programme for Belize*, *Detroit Edison Company*, *Citienergy* and *PacifiCorp*. El proyecto ECOLAND preservará bosques tropicales mediante la adquisición de 2 000-3 000 ha en el Parque Nacional Esquinas, amenazado de deforestación al suroeste de Costa Rica. Entre los asociados en el proyecto figuran Estados Unidos, Costa Rica e instituciones austríacas.

El sostenimiento de los programas, los proyectos y las medidas que se están aplicando para reducir la deforestación tropezará con muchas dificultades. En la India, la disminución de las tasas de crecimiento de la población rural ha ayudado a los responsables de políticas a seguir frenando la deforestación. Pero, en otras partes, la principal dificultad consistirá en seguir hallando medios de vida alternativos para habitantes o talaadores, para lo cual tal vez haya que integrarlos en el tejido social urbano de una nación. El atractivo de los bosques para los deforestadores puede deberse a razones distintas del cultivo de la tierra, y los responsables de políticas han de recurrir en tales casos a políticas en gran parte no forestales. Otra dificultad en la protección de los bosques y los parques nacionales es aumentar los presupuestos estatales con tal fin, muchas veces inadecuados para disponer de suficientes guardabosques, cercas y otra infraestructura para detener la invasión de tierras.

Recuadro 4. Ejemplo de la India

Desde 1980, el gobierno indio ha seguido una serie de políticas y programas que han permitido estabilizar su superficie forestal en unas 64 Mha y, como consecuencia, se estima que en los bosques había cinco Mt c secuestradas en 1990. Antes de 1980, el gobierno concedió prioridad a la mayor producción de alimentos aumentando la superficie de cereales alimenticios y distribuyendo tierra a los pobres que carecían de ella. Esto dio como resultado una considerable deforestación en el período comprendido entre 1950 y 1975, en el que unas 4,3 M ha se convirtieron en gran parte con fines agrícolas. Entre las políticas y programas de la India para reducir la deforestación y ayudar a la regeneración figuran las siguientes:

Políticas

- 1) Ley de conservación forestal de 1980: Esta estricta legislación ha dificultado mucho la conversión de tierra forestal para otros usos.
- 2) Prohibición de explotar bosques vírgenes estatales, en muchos Estados desde mediados del decenio de 1980.
- 3) Considerable disminución de concesiones a la industria que utiliza madera forestal y fomento de la utilización de tierras de labranza para la obtención de madera como materia prima.

Programas

- 1) Conversión de 15 M ha de bosques en zonas protegidas (parques nacionales y santuarios de especies silvestres)
- 2) Programa conjunto de ordenación forestal en virtud del cual las comunidades locales y el departamento de bosques restablecen conjuntamente la vegetación de tierras forestales degradadas.
- 3) Reforestación de 18-20 M ha durante 1980-95, con una producción de 58 Mt de madera industrial y para combustible.

Estas políticas han durado cerca de 15 años, a pesar del aumento de la población y de la mayor demanda de alimentos y de biomasa. Al parecer, el Gobierno indio ha tenido éxito en su legislación sobre conservación, sus programas de repoblación forestal y la sensibilización de la población para lograr la conservación de los bosques.

Fuente: SIE II, Capítulos 15 (Recuadro 15.3) y 24 (punto 24.3.1.1).

7.3.2 Forestación

Por forestación se entiende el aumento de la cantidad de carbono almacenado en la vegetación (sobre tierra y bajo tierra), materia orgánica muerta y, a medio y a largo plazo, productos de la madera. Este proceso consiste en la reforestación, es decir, la replantación de árboles en zonas recientemente deforestadas (menos de 50 años), y en la forestación propiamente dicha, lo que supone la plantación de árboles en zonas desprovistas de cubierta vegetal durante mucho tiempo (más de 50 años). En regiones templadas, las tasas de reforestación suelen ser altas: la reforestación en Canadá en el decenio de 1980 alcanzó 720.000 ha/año (SIE II, 24.4.1), y en Estados Unidos promedió 1 Mha/año entre 1990 y 1995. En los países tropicales y templados se están realizando importantes esfuerzos de forestación. China se vanagloria de haber plantado 30,7 Mha entre 1949 y 1990, en tanto que la India tenía 17,1 Mha plantadas en 1989 (SIE II, 24.4, véase el Recuadro 4). Estados Unidos disponía de 5 Mha de plantaciones forestales en 1985, y Francia ha duplicado con creces la zona forestal desde comienzos del pasado siglo, pasando de 7 a 15 Mha; en 1994, Nueva Zelandia gestionaba 1,4 Mha de bosque plantado siguiendo principios de rendimiento sostenido.

Las medidas para la forestación y la agrosilvicultura comprenden: i) programas de inversión estatales orientados a esas prácticas en tierras de propiedad pública; ii) programas forestales comunitarios que pueden ser apoyados por servicios de extensión del gobierno; y iii) plantaciones privadas con incentivos económicos y de otro tipo proporcionados por el gobierno (véase el Cuadro 16). Estas medidas pueden orientarse a bosques de producción, agrosilvicultura y bosques de conservación. Los bosques de conservación comprenden los gestionados para combatir la erosión del suelo y la gestión de cuencas hidrológicas. Los consagrados fundamentalmente al secuestro de carbono han de ubicarse en tierras con reducidos costos de oportunidad, pues de otro modo es probable que se utilicen con fines distintos. Las subvenciones estatales pueden revestir la forma de arreglos fiscales que no discriminen contra la silvicultura, desgravaciones fiscales en el caso de proyectos que satisfagan objetivos concretos, y fácil acceso a la financiación bancaria a tipos de interés inferiores a los del mercado.

Las subvenciones estatales han sido importantes para iniciar y preservar plantaciones privadas. Desde la segunda guerra mundial se han plantado 3,15 Mha en Francia, y en el programa

Cuadro 16: Ejemplos seleccionados de medidas para mitigar las emisiones de GEI recurriendo a la forestación y a la agrosilvicultura.

Opciones técnicas	Medidas	Efectos climáticos y otros efectos ambientales	Efectos económicos y sociales	Consideraciones administrativas, institucionales y políticas
Silvicultura/agrosilvicultura de producción	Programas basados en el mercado – Promoción de programas en tierra de propiedad pública – Extensión de servicios para silvicultura comunitaria o privada – Incentivos financieros o de otro tipo para plantaciones privadas	Beneficios para el clima – Hasta 75 t C/ha en vegetación estable (conservación de C adicional mediante la explotación evitada de bosques primarios) – La agrosilvicultura puede tener una menor densidad de C Otros efectos – Lugar adecuado y selección de especies necesarios para beneficiarse de la conservación del suelo y las cuencas hidrológicas	Cuestiones macroeconómicas – Costo de capital de 5-8 \$/t C – Otros costos pueden variar con el tipo de tierra, la calidad del suelo, y el nivel de intervención gubernamental, incluida la infraestructura – Beneficios de las ventas de productos de madera y otros – Creación de empleos – Reducción de las importaciones de madera y de la salida de moneda fuerte	Factores administrativos/institucionales – Necesidad de mercados seguros para productos, e instituciones para prestar servicios de extensión Factores políticos – Necesidad de derechos de tenencia de la tierra inequívocos
Bosques de conservación^a	Medidas reglamentarias – Acción directa del gobierno para la gestión de bosques con fines de: • Protección de cuencas hidrológicas • Conservación del suelo • Secuestro de C	Beneficios para el clima – Elevado potencial, hasta de 300 t C/ha, pero el secuestro de C cesa en la madurez Otros efectos – Beneficios para la conservación del suelo, cuencas hidrológicas, etc. – Lugar adecuado y selección de especies necesarios para beneficiarse de la conservación del suelo y las cuencas hidrológicas	Cuestiones macroeconómicas – Costo de capital de 5-8 \$/t C – Elevado costo de oportunidad de la tierra – Posible creación de empleos rurales – Obtención de productos forestales no maderables	Factores políticos – Difícilmente justificable políticamente y sostenible a largo plazo

^a Las políticas y los programas para bosques de conservación se centrarán en gran medida en tierra del sector público, pero también comprenden la prestación de servicios de extensión para el crecimiento de la vegetación en otras tierras.

nacional francés de 1995 para la mitigación del cambio climático se prevé una tasa de forestación de 30.000 ha/año a partir de 1998, con lo que se secuestrarán 79-89 MtC en 50 años, a un costo de 70 \$/t C. Un interesante acontecimiento en la India en los últimos años ha sido la plantación de teca (*Tectona grandis*) por empresarios privados, obteniendo el dinero en los mercados privados de capitales (SIE II, 15.3.3). Este programa, aun ocupando solamente varios centenares de ha en la actualidad, puede ampliarse a 4-6 Mha de las 66 Mha de tierras degradadas de la India. La teca puede utilizarse en la industria de la construcción y la del mueble.

Además de los programas nacionales, se están iniciando y apoyando otros en algunos países por gobiernos extranjeros, organizaciones no gubernamentales y compañías privadas. Un ejemplo es RUSAFOR, proyecto de repoblación forestal aprobado por la IJI de Estados Unidos en la región de Saratov,

en Rusia (SIE II, Recuadro 24-2). En el proyecto se piensan plantar plántulas en 500 ha de tierra agrícola marginal o rodales forestales quemados. La proporción inicial de supervivencia de las plántulas es de 65%. El proyecto servirá de ejemplo para la ordenación de una plantación forestal rusa como sumidero de carbono. Otro ejemplo es el proyecto de explotación forestal de impacto reducido, para el que proporcionó fondos la New England Power Company (SIE II, Recuadro 24-2). Con este proyecto se trata de reducir a la mitad el daño causado a árboles residuales y al suelo durante la tala de árboles maderables, produciendo así menos restos de leña, menos descomposición y menos liberación de carbono.

Para que las políticas de repoblación forestal y agrosilvicultura del gobierno tengan éxito, será esencial formular una estrategia coordinada sobre el uso de la tierra con derechos de tenencia inequívocos y no expuestos a dificultades legales, así

Cuadro 17: Ejemplos seleccionados de medidas para mitigar las emisiones de GEI recurriendo a la gestión de sustitución

Opciones técnicas	Medidas	Efectos climáticos y otros efectos ambientales	Efectos económicos y sociales	Consideraciones administrativas, institucionales y políticas
Producción de bioelectricidad en tierras sin cultivos y degradadas	Programas basados en el mercado – Determinación de precios de la energía apropiados basados en el costo de la energía de combustibles fósiles evitada IDyD – Promoción y comercialización de bioelectricidad y biocombustibles, incluido el biogás	Beneficios para el clima – Se pueden evitar las emisiones de C en una proporción de hasta cuatro veces el C secuestrado en la plantación – Los biocombustibles/ bioelectricidad tienen en general emisiones más bajas distintas de GEI Otros efectos – La conservación del suelo y las cuencas hidrológicas pueden beneficiarse	Rentabilidad – Los beneficios pueden compensar los costos Cuestiones macroeconómicas – El costo de capital de las plantaciones es de 5-8 \$/t C – Costo de capital adicional de equipo de bioenergía – Bajo costo de oportunidad de la tierra – Se obtienen productos de bosques maderables y no maderables Cuestiones de equidad – Se crean oportunidades de empleo rural sostenido y de biomasa	Factores administrativos/ institucionales – Grandes posibilidades de réplica – La IDyD y la transferencia de tecnología pueden ser necesarias Factores políticos – Es preciso resolver la fijación de precios de la energía y los obstáculos a la comercialización
Sustitución de madera obtenida en forma no sostenible y de productos distintos de la madera (p. ej., cemento, acero, etc.) por madera obtenida sosteniblemente	Programas basados en el mercado – Incentivos fiscales – Institución de una política de la industria maderera para que sus productos sean técnica y económicamente competitivos con sucedáneos como acero, cemento, carbón, etc. – Política para la fijación de los precios de la madera en pie, a fin de favorecer el crecimiento sostenible de madera con respecto a sucedáneos IDyD – Mayor sensibilización	Beneficios para el clima – Proporcionales a las emisiones evitadas en la fabricación/ explotación de material o madera de sustitución – Los biocombustibles/ bioelectricidad tienen en general emisiones más bajas distintas de GEI Otros efectos – Pueden tener beneficios para la conservación del suelo y las cuencas hidrológicas	Rentabilidad – Los beneficios pueden compensar los costos Cuestiones macroeconómicas – Se pueden reducir las importaciones de combustible – Costos de modernización y reconversión – Pérdida de empleos respectivos – Se obtienen productos de bosques maderables y no maderables Cuestiones de equidad – Se crean oportunidades de empleo rural sostenido y de biomasa	Factores administrativos/ institucionales – Mercados de productos no garantizados a largo plazo

Recuadro 5. Potencial de bioenergía para la electrificación rural

En países que no figuran en el Anexo I, la mayoría de las zonas rurales (donde vive más del 70% de la población) no están electrificadas, pero es probable que crezca la demanda de electricidad en ellas. La potencia de la electricidad es reducida, de 10 a 200 kW, y la demanda dispersa. Las demostraciones sobre el terreno en el sur de la India han mostrado la viabilidad técnica y operativa de atender necesidades de electricidad en zonas rurales mediante sistemas de electricidad descentralizadas basados en biomasa leñosa, utilizando generadores de gas y sistemas de biogás a base de estiércol. Los sistemas de bioenergía también permiten la recuperación de tierras degradadas, la promoción de la biodiversidad con prácticas forestales apropiadas, y la creación de empleo rural. Así pues, habida cuenta de la baja potencia, y de la dispersa demanda de electricidad, así como de los beneficios locales, los sistemas de bioenergía pueden considerarse como opciones "sin pesar" para responder a las crecientes necesidades de electricidad rural.

como mercados suficientemente desarrollados para garantizar una demanda permanente de productos forestales.

7.3.3 Ordenación de sustitución

La ordenación de sustitución es la que ofrece mayores posibilidades de mitigación a largo plazo. Considerando que los bosques son recursos renovables, se centra en la transferencia de carbono de biomasa a productos que reemplazan a los combustibles fósiles o reducen su utilización, en vez de aumentar la propia concentración de carbono. La plantación de árboles expresamente con fines energéticos se ha intentado con diverso

éxito en Brasil, Filipinas, Etiopía, Suecia y otros países, pero el potencial para la bioenergía es muy grande (para las estimaciones sobre las posibilidades de suministro de bioenergía, véase el punto 5.2.5, y también el Recuadro 5).

Con el tiempo, el desplazamiento de combustibles fósiles para productos de madera de alto consumo energético probablemente sea más eficaz para reducir las emisiones de carbono que el secuestro de carbono en plantaciones en tierras deforestadas o degradadas de otro modo en países en desarrollo, y en tierras agrícolas excedentes en países de la OCDE del Anexo I. Por ejemplo, sustituyendo carbón por madera de plantación en la generación de electricidad se pueden evitar emisiones de carbono que pueden cuadruplicar el secuestro de carbono en la plantación (véase el Cuadro 17) (SIE II, 24.3.3). La generación de biocombustibles y de bioelectricidad es mucho más compleja, porque la comercialización no es fácil y todavía hay que superar obstáculos en la fijación de los precios y la comercialización. Los sistemas de energía de biomasa en ciudades y pueblos tienen la ventaja de proporcionar empleo, recuperar tierras degradadas y proporcionar beneficios asociados a las zonas rurales. Los sistemas de calefacción central pueden convertirse en sistemas de biomasa para suministrar calor y electricidad en climas más fríos.

En los países que no figuran en el Anexo I, la utilización de electricidad en zonas rurales es reducida. En numerosos países, como los de África subsahariana, menos del 5% de los pueblos están electrificados; en países como la India, aunque más del 80% de los asentamientos rurales estén electrificados, menos de la tercera parte de los hogares rurales disponen de electricidad. Se requieren políticas oficiales apropiadas para: i) permitir que los productores de energía independientes en pequeña escala generen y distribuyan electricidad de biomasa; ii) transferir tecnologías dentro del país y desde el exterior; iii) determinar un precio remunerador de la electricidad, y iv) suprimir las restricciones del cultivo, la recolección, el transporte y el tratamiento de madera (salvo posibles restricciones sobre la conversión de buenas tierras agrícolas en bosques destinados a energía) (SIE II, 24.3.3).

8. ELIMINACIÓN DE DESECHOS SÓLIDOS Y AGUAS RESIDUALES²¹

8.1 Introducción

El metano es emitido durante la descomposición anaeróbica del contenido orgánico de desechos sólidos y aguas residuales. Hay grandes incertidumbres en la estimación de las emisiones, debido a la falta de información sobre las prácticas de control de desechos empleadas en los diversos países, la parte de residuos orgánicos que se descompone anaeróbicamente, y el grado en que esos desechos se descompondrán finalmente.

Aproximadamente 20-40 Mt CH₄ (110-230 Mt C), o alrededor del 10% de las emisiones globales de CH₄ resultantes de fuentes antropógenas, corresponden anualmente a vertederos y basureros. Diez países del Anexo I representan casi las dos terceras partes de las emisiones globales de CH₄ procedentes de la eliminación de desechos sólidos, y Estados Unidos alrededor del 33%, o sea, unas 10 Mt (SIE II, 22.4.4.1).

Las emisiones de CH₄ resultantes de la eliminación de aguas residuales domésticas e industriales se estiman en 30-40 Mt (160-230 Mt C) anuales, y también en ese caso representan alrededor del 10% de las emisiones globales totales de origen humano. Las aguas residuales industriales, sobre todo de las industrias alimentaria y de la pulpa y el papel, son las que más contribuyen, representando las aguas residuales domésticas y comerciales hasta 2 Mt CH₄ anualmente. A diferencia de las emisiones de los desechos sólidos, se considera que la mayoría de las emisiones de aguas residuales tienen su origen en países que no figuran en el Anexo I, donde las corrientes de aguas residuales y desechos industriales con frecuencia no se gestionan o mantienen en condiciones anaeróbicas, sin control de CH₄ (SIE II, 22.4.4.1).

8.2 Opciones técnicas para controlar las emisiones de metano

Las emisiones de CH₄ pueden reducirse disminuyendo la fuente o mediante la recuperación de CH₄ y/o la reducción de desechos sólidos y aguas residuales.

8.2.1 Reducción de desechos en la fuente

La opción técnica más importante para la reducción de desechos en la fuente es el menor uso de materiales que se convierten finalmente en corriente de residuos. Sin embargo, esta sección se centra en los desechos sólidos una vez generados (de conformidad con SIE II, 22.4.4.2). La cantidad de desechos sólidos orgánicos puede reducirse reciclando productos de papel, compostación e incineración. Los productos de papel representan una parte considerable de los desechos sólidos en los países del Anexo I (p. ej., 40% en Estados Unidos) y en centros urbanos de países de altos ingresos que no figuran en el Anexo I (normalmente, 5-20%). Mediante diversos procesos de reciclado, que difieren en complejidad técnica, con frecuencia esos desechos pueden convertirse en material que no se distingue de productos vírgenes. La compostación – o proceso

aeróbico para tratar desechos orgánicos húmedos que generan poco o ningún CH₄ – es aplicable sobre todo a países que no figuran en el Anexo I, donde ese tipo de desecho constituye una gran parte del total, si bien puede darse también en países del Anexo I (SIE II, 22.4.4.2). El residuo puede utilizarse como fertilizante, en tanto que beneficio secundario. Con la disponibilidad de menos tierra y las posibilidades de recuperación de energía aumenta la incineración de desechos en muchos países: el 70% de los desechos sólidos de Japón se incineran. Sin embargo, las emisiones de chimeneas que contaminan la atmósfera y la eliminación de cenizas también plantean problemas, y en razón de características como el contenido de humedad y la composición, la incineración puede ser más difícil y costosa en países que no figuran en el Anexo I.

La complejidad técnica de estas opciones de reducción de fuentes puede variar notablemente, si bien esto no influye mucho en su eficacia. En países que no figuran en el Anexo I, donde la mano de obra es barata en comparación con los costos de equipo, normalmente se procede a reciclado y compostación con mucha mano de obra. Los países del Anexo I en general utilizan maquinaria más compleja que economiza mano de obra y cuyo funcionamiento requiere mayor especialización.

Los costos dependerán del tipo de sistema, del tamaño de la instalación y de factores locales. Los costos de capital para instalaciones de compostación de desechos sólidos pueden variar entre 1,5 millones \$ para una planta de 300 toneladas diarias (TD) y 45 millones \$ para una planta más compleja de 550 TD, que composta también fango cloacal; los costos de funcionamiento asociados pueden variar entre 10 y 90 \$/t, pero por término medio suelen ser de 20 - 40 \$. Las instalaciones de desechos de jardín son normalmente más pequeñas y menos complejas; los costos de capital varían entre 75 000 y 2 000 000 \$ en Estados Unidos para plantas que tratan 2 000 - 60 000 t/año de desechos; los costos de funcionamiento son aproximadamente de 20 \$ t. Los costos de capital para la incineración suelen ser mucho más altos, entre 60-300 millones \$ para instalaciones de 10-80 MW, o unos 125.000 \$ por capacidad de TD (SIE II, 22.4.4.2).

8.2.2 Recuperación de metano de la eliminación de desechos sólidos

La reducción de desechos en la fuente es aplicable a la futura generación de desechos sólidos. El CH₄ puede recuperarse de vertederos existentes y futuros, puesto que los materiales orgánicos en basureros y en vertederos siguen emitiendo CH₄

²¹ Esta sección se basa en SIE II, Capítulo 22, *Mitigation Options for Human Settlements* (autores principales: M. Levine, H. Akbari, J. Busch, G. Dutt, K. Hogan, P. Komor, S. Meyers, H. Tsuchiya, G. Henderson, L. Price, K. Smith, y Lang Siwei) y Capítulo 23, *Agricultural Options for Mitigation of Greenhouse Gas Emissions* (autores principales: V. Cole, C. Cerri, K. Minammi, A. Mosier, . Rosenberg, D. Sauerbeck, J. Dumanski, J. Duxbury, J. Freney, R. Gupta, O. Heinemeyer, T. Kolchugina, J. Lee, K. Paustian, D. Powlson, N. Sampson, H. Tiessen, M. van Noordwijk y Q. Zhao)

(denominado con frecuencia gas de vertedero) durante 10 a 30 años o más. Muchas veces, más de la mitad del CH_4 puede recuperarse y utilizarse para la generación de calor o electricidad, práctica ya común en muchos países (SIE II, 22.4.4.2). El gas de vertedero puede purificarse e inyectarse en un conducto o sistema de distribución de gas natural; en Estados Unidos hay varios proyectos de ese tipo. En Minas Gerais (Brasil), el gas de vertedero purificado se ha utilizado para proporcionar energía a parques de camiones de recogida de basura y taxis.

Los costos de recuperación de CH_4 procedente de instalaciones de eliminación de desechos sólidos dependen mucho de la tecnología y de las características del lugar. Para un vertedero de 1 millón de toneladas de desechos (que da servicio a una población de 50 000 a 100 000 personas), los costos de capital para la recogida y la combustión serán de unos 630 000 \$ y de 3,6 millones \$ para un vertedero de 10 millones de toneladas. Los costos de explotación anuales pueden variar entre menos de 100 000 \$ y más de 200 000 \$. Los costos de capital para la recuperación de energía (incluido el tratamiento de gas) pueden oscilar entre 1 000 y 1 300 \$ por KW neto. El uso directo es normalmente menos costoso. El principal costo de capital corresponde a la construcción del gasoducto. En general, los costos normales de generación de electricidad para un sistema completo (captación de gas y recuperación de energía) varían entre 4 y 7 ¢/kWh. Estos costos se basan en los de equipo y mano de obra en Estados Unidos, y pueden variar mucho en otros países. Asimismo, en algunos vertederos y otros lugares de eliminación de desechos sólidos de muchos países se recoge ya su CH_4 y se ventila o quema (muchas veces por razones de seguridad). En esos lugares, el costo de generación de electricidad sería inferior al indicado anteriormente (SIE II, 22.4.4.2; SIE III 9.4.1).

8.2.3 *Recuperación de metano y/o reducción del producido por aguas residuales*

Las emisiones de CH_4 pueden eliminarse prácticamente si las aguas residuales y el fango residual se almacenan y tratan en condiciones aeróbicas. Entre las opciones para impedir que se produzca CH_4 durante el tratamiento de aguas residuales y la eliminación de fango residual figuran el tratamiento aeróbico primario y secundario y el tratamiento de la tierra. Las aguas residuales también pueden tratarse en condiciones aeróbicas, y el CH_4 generado puede capturarse y utilizarse como fuente energética para calentar el tanque digestor de aguas residuales o fango residual. Si se dispone de CH_4 adicional, puede utilizarse como combustible o para generar electricidad. Como último recurso, el gas puede quemarse, con lo que se convierte el CH_4 en CO_2 , con un potencial de calentamiento global muy inferior.

Los costos del tratamiento de las aguas residuales dependen mucho del método tecnológico empleado y de las condiciones propias del lugar. Los costos de capital del tratamiento primario aeróbico pueden variar entre 150 000 y 3 millones \$ para la construcción, suponiendo una gama de 500 000 a 10 millones de galones (2 000-40 000 m^3) de flujo de agua residual día;

los costos anuales de explotación y mantenimiento para esos volúmenes se estiman entre 20 000 y 500 000 \$. Los costos de tratamiento secundario aeróbico pueden ser ligeramente más altos, debido a las necesidades de energía y de equipo, y dependen mucho del volumen diario del flujo de agua residual que penetra en la instalación. Los costos pueden llegar a 10 millones \$, según la tecnología elegida y el volumen requerido, con un tratamiento máximo de 100 millones de galones (0,4 x 10^6 m^3) al día. Por último, los costos para digestores anaeróbicos de aguas residuales, quema o utilización pueden variar entre 100 000 y 3 millones \$ para la construcción y 10 000 a 100 000 \$ para la explotación y el mantenimiento, suponiendo flujos de agua residual de 100 000 a 100 millones de galones (400 a 0,4 x 10^6 m^3 al día. (SIE II, 22.4.4.2).

Los procesos anaeróbicos acelerados para el tratamiento de efluentes líquidos con elevado contenido orgánico (p. ej., aguas residuales, restos de la elaboración de alimentos) pueden ayudar a reducir emisiones de CH_4 no controladas, además de ser particularmente apropiados para los climas cálidos de la mayoría de los países en desarrollo. Brasil y la India, por ejemplo, han establecido con éxito una amplia infraestructura para esas tecnologías, en las cuales los tiempos de retención hidráulica son menores que con los procesos aeróbicos, por lo que las instalaciones son mucho más pequeñas y su construcción más económica. Y lo que es aún más importante, a diferencia de los procesos aeróbicos, no entrañan ninguna aereación y el consumo de electricidad es bajo.

Para los reactores de capas de lodo anaeróbicas ascendentes con una capacidad de 4 000 a 10 000 m^3 (que pueden tratar una demanda química de oxígeno de 20 a 30 Kg $\text{m}^3/\text{día}$), los costos de capital se han estimado en la gama de 1 a 3,5 millones \$, con unos costos de explotación anuales de 1 a 2,7 millones \$. Con esos costos, la producción total de CH_4 disminuiría a la gama de 0,45 a 1,05 \$/GJ, con valores en el extremo superior para Europa y en el inferior para Brasil. Utilizando esas estimaciones, se recuperarían todos los costos, pues el CH_4 se produciría a un precio inferior al del gas natural en casi todas las partes del mundo (SIE II, 22.4.4.2).

8.3 *Medidas para reducir y recuperar metano*

En numerosos países, probablemente se emprendan en el futuro, por razones ambientales y de salud pública, acciones para reducir las emisiones de CH_4 procedentes de lugares de eliminación de desechos sólidos e instalaciones de tratamiento de aguas residuales; las reducciones de CH_4 se considerarán un beneficio secundario de esas actividades. Sin embargo, a pesar de los beneficios, en razón de varios obstáculos, con los esfuerzos descritos anteriormente para la recuperación de CH_4 y la reducción de desechos en la fuente sólo puede lograrse una pequeña parte del potencial, especialmente en los países que no figuran en el Anexo I. Entre esos obstáculos se encuentran los siguientes (SIE II, 22.5.3):

- Falta de sensibilización en cuanto a los costos relativos y a la eficacia de otras opciones técnicas.

Cuadro 18: Ejemplos seleccionados de medidas para reducir las emisiones de GEI en las instalaciones de eliminación de desechos sólidos y en las plantas de tratamiento de aguas residuales

Opciones técnicas	Medidas	Efectos climáticos y otros efectos ambientales	Efectos económicos y sociales	Consideraciones administrativas, institucionales y políticas
Reducción de desechos en la fuente – Reciclado – Compostación – Incineración Recuperación de metano – Instalaciones de eliminación de desechos sólidos – Plantas de tratamiento de aguas residuales	Creación de instituciones y asistencia técnica – Fortalecimiento de instituciones locales y nacionales para la eliminación de desechos sólidos y el tratamiento de aguas residuales	Beneficios para el clima – Considerables reducciones de CH₄ (hasta 70% o más) según las opciones técnicas y el alcance – Para proyectos de recuperación de CH₄ e incineración, reducciones asociadas de CO₂ mediante desplazamiento de combustibles fósiles Otros efectos – Mejoras de la calidad de la atmósfera local, incluidas menos emisiones de COV – Reducción de olores – Beneficios para la salud pública, incluida la disminución de enfermedades – Mayor seguridad	Rentabilidad – Medida menos costosa Cuestiones macroeconómicas – Amplia gama de beneficios Cuestiones de equidad – Importante calidad de las mejoras de vida para las generaciones actuales y futuras	Factores administrativos/institucionales – Es difícil evaluar los resultados – Se pueden desplazar los equilibrios de fuerzas – Muy replicables Factores políticos – Oposición de algunas instituciones – Más apoyo que con la reglamentación
	Programas voluntarios – Programas de cooperación con la industria, el gobierno y los operadores de instalaciones para estimular la aplicación de opciones técnicas	Beneficios para el clima – Pueden ser menores que los de programas reglamentarios o financieros, porque sólo se realizarán voluntariamente reducciones rentables Otros efectos – Mejor calidad de la atmósfera local y beneficios para la salud pública, como anteriormente	Rentabilidad – Menor costo que con medidas reglamentarias – Fomento de proyectos rentables Cuestiones macroeconómicas – Supresión de obstáculos a proyectos económicamente justificados Cuestiones de equidad – Como anteriormente	Factores administrativos/institucionales – Limitada certidumbre en las reducciones – Se requiere apoyo institucional – Muy replicables, si existe el marco institucional Factores políticos – Más apoyo que con la reglamentación
	Programas reglamentarios – Establecimiento de normas o reglamentos para la eliminación de desechos, el tratamiento de aguas residuales y/o la recuperación de CH₄	Beneficios para el clima – Pueden ser grandes o evidentes debido al carácter obligatorio (según el nivel de actuación) Otros efectos – Mejor calidad de la atmósfera local y beneficios para la salud pública, como anteriormente	Rentabilidad – Costo más alto, según el rigor de la reglamentación Cuestiones macroeconómicas – Mayores costos sociales Cuestiones de equidad – Como anteriormente, pero costos sociales más altos para mayores reducciones de las emisiones	Factores administrativos/institucionales – Certidumbre en las reducciones – Se requiere infraestructura institucional – Replicables si existe la infraestructura para la aplicación y se apoyan políticamente Factores políticos – Oposición de la industria
	Programas basados en el mercado – Provisión de incentivos al mercado para prácticas deseadas de tratamiento de desechos o actividades directas de recuperación de CH₄	Beneficios para el clima – Pueden ser grandes, según el nivel de ayuda Otros efectos – Mejor calidad de la atmósfera local y beneficios para la salud pública, como anteriormente	Rentabilidad – Costo más alto, según el nivel de incentivos Cuestiones macroeconómicas – Pueden reflejar el valor social de las reducciones de las emisiones Cuestiones de equidad – Como anteriormente	Factores administrativos/institucionales – Menos certidumbre en las reducciones – Se requiere apoyo institucional – Deben adaptarse a las condiciones económicas locales Factores políticos – Posible oposición debido al costo

- Aunque los procesos anaeróbicos recién desarrollados son menos costosos que el tratamiento de aguas residuales aeróbico tradicional, se dispone de menos experiencia.
- Es menos económico recuperar CH_4 de basureros y vertederos más pequeños.
- En numerosos países y regiones donde no se utiliza mucho el gas natural y no se dispone fácilmente de equipo [p.ej., Ciudad de México, Nueva Delhi, Port-au-Prince, (Haití) y gran parte de África subsahariana] la infraestructura y la experiencia en la utilización de CH_4 son limitadas.
- El "sistema" de eliminación de desechos existente puede ser un vertedero abierto o una corriente de efluentes sin tratamiento, por lo que no hay gastos de capital ni de explotación. Los obstáculos señalados anteriormente, junto a condiciones antihigiénicas del lugar propuesto, pueden dificultar la atracción de la capital de inversión para la recuperación y uso de CH_4 .
- Hay diversos grupos generalmente responsables de la generación de energía, suministro de fertilizantes y tratamiento de residuos, y con la recuperación y el uso de CH_4 pueden intervenir nuevos protagonistas en el proceso de eliminación de desechos, con lo que se podría romper el actual equilibrio de fuerzas económicas y políticas en la comunidad (p. ej., debido a la falta de acuerdo se ha demorado la iniciación de un proyecto de demostración de recuperación de gas de vertedero financiado por el Fondo para el Medio Ambiente Mundial en Lahore (Pakistán)). Este problema se aplica tanto a los países del Anexo I como a los demás países.

Para ejecutar con éxito proyectos de control de CH_4 es preciso tratar de resolver esos obstáculos con medidas apropiadas. En general, las medidas no son específicas de las opciones de tecnología. Las enumeradas a continuación se disponen en el orden en que sería necesario invocarlas en un país con poca o ninguna infraestructura de tratamiento de desechos (los países y regiones más avanzados comenzarían en una etapa posterior).

- Políticas para la creación de instituciones y de asistencia técnica
- Acuerdos voluntarios
- Medidas reglamentarias
- Programas basados en el mercado.

8.3.1. *Políticas de creación de instituciones y de asistencia técnica*

La existencia de una infraestructura de tratamiento de desechos adecuada, incluido un marco jurídico, es un requisito previo para toda medida de control de CH_4 . Cuando esa infraestructura es débil o inexistente, es preciso reforzarla o crearla en los países (p. ej., pasando de zonas más desarrolladas a menos desarrolladas) o internacionalmente mediante ayuda multilateral o bilateral. Por ejemplo, el Banco Interamericano de Desarrollo concede prioridad a la creación de infraestructura de tratamiento de desechos como parte de sus programas de ayuda al desarrollo. El apoyo para la creación de instituciones puede comprender asistencia financiera y técnica. Se recibe asistencia técnica y para la financiación del Programa de Estudios por Países de

Estados Unidos, de iniciativas de aplicación conjunta²², y del Fondo para el Medio Ambiente Mundial.

8.3.2. *Acuerdos voluntarios*

También se pueden utilizar acuerdos voluntarios para superar los obstáculos a los proyectos de tratamiento de desechos. En Estados Unidos, en un amplio programa de vertederos se estimula a los organismos estatales (que autorizan proyectos) y a los servicios públicos (que compran frecuentemente energía de vertederos) para que promuevan voluntariamente proyectos de vertederos y participen en ellos. Estos programas pueden ser muy económicos y flexibles para conocer obstáculos importantes y suministrar información y asistencia eficaces para superarlos. El programa estadounidense, por ejemplo, proporciona diversos instrumentos, como descripciones detalladas de posibles lugares para proyectos, y programación informática para evaluar el potencial económico y técnico.

8.3.3. *Medidas reglamentarias*

Una importante medida reglamentaria para reducir la cantidad de desechos sólidos mediante reciclado es imponer la separación en la fuente (p. ej., papel, vidrio, metal, y plásticos). Las medidas reglamentarias pueden comprender también el establecimiento de normas sobre el uso del papel reciclado o el contenido de material reciclado. En Estados Unidos, por ejemplo, muchos estados tienen objetivos de reciclado, incluidos a menudo en programas obligatorios. Para los basureros y vertederos existentes, las medidas reglamentarias pueden variar desde la recuperación y combustión obligatorias de CH_4 hasta acciones para aclarar disposiciones vigentes y garantizar que facilitan la recuperación de CH_4 . En Estados Unidos se publicó recientemente una reglamentación obligatoria sobre la recuperación y combustión de CH_4 en los mayores vertederos, lo que permitirá reducciones anuales de CH_4 del orden de 60% (o ~6 Mt en 2000) (SIE II, 22.4.4.2).

8.3.4. *Programas basados en el mercado*

Una vez que se dispone de la infraestructura apropiada y de los conocimientos técnicos, los programas basados en el mercado pueden ayudar a reducir las percepciones de riesgo o de elevados costos de capital iniciales. Entre las medidas nacionales pueden figurar bonificaciones fiscales o financiación a bajo costo. En Estados Unidos, por ejemplo, los proyectos de recuperación de energía de gases de vertederos tienen derecho a una bonificación fiscal de "gas no convencional" por valor de 1¢/kWh de electricidad generada. También puede proporcionarse ayuda financiera internacional mediante mecanismos como el Fondo para el Medio Ambiente Mundial o fondos similares. El Fondo para el Medio Ambiente Mundial está financiado actualmente un proyecto de gas de vertedero-energía en Pakistán, que debe demostrar las posibilidades de esta tecnología para la reducción de CH_4 en toda la región.

²² En el capítulo 11 del SIE se utiliza el término "aplicación conjunta" en el sentido de "actividades realizadas conjuntamente", y lo mismo se hace aquí.

8.4 Comparación de medidas y políticas alternativas

La mayoría de las opciones técnicas para la reducción de emisiones de CH_4 son independientes entre sí, y no se excluyen mutuamente. El reciclado de algunos desechos sólidos y la compostación de otros pueden hacerse simultáneamente. El resto puede colocarse en vertederos donde los costos de eliminación son bajos, o se incinera. El CH_4 procedente de vertederos puede utilizarse con fines energéticos cuando es posible, y quemarse si los costos de recuperación no son competitivos con las fuentes de energía alternativas. En general, son económicamente factibles reducciones de 30-50% en las emisiones de CH_4 (SIE II, 22.4.4.2; SIE III, 9.4.1). Si se utiliza la gama de estimaciones de las emisiones en los escenarios IS92, esto supone reducciones de equivalente de carbono del orden de 55-140 Mt en 2010, 85-170 Mt en 2020, y 110-23 Mt en 2050.

Las opciones para la eliminación del CH_4 de aguas residuales comprenden una elección entre el tratamiento aeróbico tradicional y procesos anaeróbicos recién mejorados. Estos parecen tener una ventaja de costo (tanto por lo que respecta a los costos de capital como a los de explotación).

Los impactos asociados para el medio ambiente de las alternativas de reducción de CH_4 son generalmente positivos. En efecto, la reducción de CH_4 puede ser un beneficio secundario de procesos que permiten disminuir la contaminación del agua y del aire y mejorar la salud. A causa de las dificultades de cuantificar esos beneficios económicos primarios, no es fácil estimar la rentabilidad de la reducción de CH_4 . En el caso de los desechos sólidos, se espera que los costos de reciclado sean bajos, los de compostación medios (como consecuencia de los costos de los vertederos) y los de incineración relativamente altos (como consecuencia de los elevados costos de inversión y de explotación); la viabilidad de determinadas aplicaciones depende de circunstancias locales. Se prevé que los costos de recuperación de CH_4 de vertederos se sitúen entre bajos y medios. Y se espera que el tratamiento aeróbico de aguas residuales tenga unos costos entre medios y altos, en tanto que los de tratamiento anaeróbico se situarán en la gama de bajo a medios.

Las consecuencias macroeconómicas también son generalmente favorables. La corriente de desechos es fuente de materias primas para la producción de productos reciclados, compostación, o recuperación de energía, lo que contribuye a la producción económica y a la creación de empleos, a la vez que proporciona beneficios para la salud y la contaminación del aire que pueden hacer importantes contribuciones al desarrollo de los países con bajos ingresos. La adquisición de conocimientos en algunas tecnologías puede suponer costos de divisas para los países que no figuran en el Anexo I y no disponen de ellas. Por tal razón, la asistencia técnica es una importante medida desde la perspectiva del desarrollo y del medio ambiente para los países de bajos ingresos que no figuran en el Anexo I.

Las consideraciones de equidad son también generalmente favorables, dentro de los países y entre ellos, así como entre generaciones. Los pobres sufren más las consecuencias del tratamiento inadecuado de desechos, y probablemente son también los beneficiarios de los empleos creados. Las futuras generaciones se beneficiarán en la medida en que la corriente de desechos actual se considere un recurso, con lo que se reducirá el consumo de materias primas esenciales.

Al igual que las opciones técnicas, las medidas no se excluyen mutuamente. Las elecciones dependen de las circunstancias en determinada región o país. La creación de instituciones y la asistencia técnica pueden ser puntos de partida para los países que no figuran en el Anexo I, en tanto que las iniciativas voluntarias y reglamentarias pueden ser más apropiadas para los países del Anexo I. En países con infraestructuras de tratamiento de desechos bien desarrolladas, cabe esperar que la industria afectada se oponga a medidas reglamentarias, si bien la experiencia estadounidense muestra que esa oposición puede superarse. En la mayoría de los países quizá sea más difícil aplicar con éxito los programas de reglamentación, en tanto que los programas basados en el mercado dependerán de la prioridad que se dé nacionalmente al tratamiento de los desechos y de las fuentes de financiación de que se disponga.

9. INSTRUMENTOS ECONÓMICOS²³

9.1 Introducción

En esta sección se describen las medidas para controlar las emisiones de GEI de más de un sector. Las medidas analizadas comprenden subvenciones, impuestos, cuotas y permisos negociables, y aplicación conjunta²⁴.

La política sobre el cambio climático ha de considerarse en el contexto de las economías existentes. En el mundo real, el cambio climático es sólo una de muchas externalidades; la competencia no es perfecta; la información y los mercados no son completos, y los impuestos distorsionados y las transferencias son algo generalizado. Estas observaciones son importantes porque en muchos análisis sobre la política del cambio climático se supone que la externalidad del cambio climático es la única distorsión que existe. Las conclusiones de esos análisis pueden ser erróneas o incorrectas (SIE III, 11.3).

En la presente sección se consideran primero los instrumentos económicos a nivel nacional, importantes cuando un país actúa unilateralmente para reducir sus emisiones de GEI o se une a otros países en un acuerdo internacional para hacerlo. Esos instrumentos comprenden subvenciones, impuestos y permisos negociables. Luego se discuten los instrumentos económicos a nivel internacional: acuerdos sobre impuestos internacionales, cuotas de emisiones negociables y aplicación conjunta²⁵.

9.2. Instrumentos económicos a nivel nacional

9.2.1. Subvenciones y eliminación de subvenciones

Una actividad puede subvencionarse de muchas formas. Un gobierno puede transferir fondos a una empresa, conceder un trato fiscal preferente, suministrar productos básicos a precios inferiores a los del mercado, o restringir productos competidores para ayudar a determinada actividad. Son muchos los países que subvencionan actualmente algunas actividades que emiten GEI (p. ej., subvenciones que reducen los precios de los combustibles fósiles). Suprimiendo subvenciones permanentes que estimulan el uso de combustibles fósiles se reducirían las emisiones de GEI y aumentarían a la larga los ingresos reales.

Por otro lado, se pueden ofrecer subvenciones temporales para determinadas actividades destinadas a limitar las emisiones de GEI. Con esas subvenciones es posible fomentar la adopción de tecnologías para reducir las emisiones, crear sumideros adicionales, o estimular el desarrollo de mejores tecnologías de mitigación de GEI.

Con la supresión de subvenciones se modifican los ingresos de grupos afectados. Tal vez haya que considerar compensaciones a los grupos cuyos ingresos resultan adversamente afectados. En el caso de subvenciones económicas, el efecto neto depende de cómo se redistribuyan los ingresos. Si se elevan los impuestos distorsionarios para financiar las subvenciones, el costo de esta opción será mayor (SIE III, 11.3.1.1).

9.2.2. Impuestos nacionales²⁶ (SIE III, 11.5.1)

Con un sistema de impuestos sobre las emisiones, las fuentes que producen emisiones de GEI pueden pagar un impuesto por unidad de emisiones²⁷. Para tener la seguridad de que se reduce al mínimo el costo de determinada reducción de emisiones, todas ellas deben tasarse al mismo tipo por unidad de contribución al cambio climático. El tipo impositivo necesario para lograr determinado objetivo de emisión ha de hallarse por tanteo durante varios años.

Generalmente se propone un impuesto sobre el contenido de carbono de combustibles fósiles – impuesto sobre las emisiones de carbono – en lugar de un impuesto sobre las emisiones de CO₂ resultantes del uso de combustibles fósiles, pues sus efectos son similares y es mucho más fácil administrarlo. Para aplicar un impuesto sobre las emisiones de CO₂, cada fuente que utiliza combustibles fósiles tendría que controlar sus emisiones y pagar los impuestos correspondientes. Un impuesto sobre el carbono afectaría a las mismas emisiones, pero sólo para los productores o distribuidores de combustible, la mayoría de los cuales interviene en la percepción de otros impuestos relacionados con la energía. En la práctica, los impuestos indirectos existentes sobre productos energéticos complican la concepción de un impuesto sobre las emisiones de carbono que modifique los precios en proporción con las emisiones de CO₂.

El impuesto sobre las emisiones de carbono es un instrumento más eficaz para reducir las emisiones de CO₂ relacionadas con la energía que los impuestos sobre otras bases, como el contenido de energía de los combustibles o el valor de los productos energéticos (impuesto sobre la energía *ad valorem*). Las simulaciones de modelos para Estados Unidos indican que con una reducción equivalente de las emisiones, el impuesto sobre la energía costaría entre un 20 y un 40% más que un impuesto sobre las emisiones de carbono, y un impuesto *ad valorem* duplicaría o triplicaría el costo. Por eso, el impuesto sobre la energía aumenta el

²³ Esta sección se basa en SIE III, Capítulo 11, *An Economic Assessment of Policy Instruments for Combatting Climate Change* (autores principales: B.S. Fischer, S. Barrett, P. Bohm, M. Kuroda, J.K.E. Mubazi, A. Shah, y R.N. Stavins).

²⁴ El término “cuota negociable” se utiliza para describir los márgenes de emisiones negociados internacionalmente, en tanto que el término “permiso negociable” se refiere a los sistemas de negociación domésticos. En el Capítulo 11 de SIE III se utiliza el término “aplicación conjunta” en el sentido de “actividades realizadas conjuntamente”, y lo mismo se hace aquí.

²⁵ La transferencia de tecnología no se incluye porque es objeto de un informe especial.

²⁶ En la mayoría de los sistemas económicos, un impuesto se desplazará, al menos en parte, a clientes o proveedores de capital, trabajo y otros insumos en formas imprevisibles.

²⁷ En realidad, el término “gravamen por emisión” o “tasa” sería más apropiado, porque se trata del pago de una cantidad por un derecho a emitir; sin embargo, se ha adoptado el término “impuesto de emisión” por estar muy generalizado.

precio de todo tipo de energía, contribuya o no a emisiones de CO₂, en tanto que un impuesto sobre las emisiones de carbono cambia los costos relativos, y proporciona por tanto incentivos para utilizar otros combustibles.

Los analistas coinciden en que las medidas para responder al cambio climático deben comprender todos los GEI (tomando en consideración su potencial para captar calor y tiempo de permanencia en la atmósfera) y los sumideros de carbono. Un impuesto sobre las emisiones de carbono de los combustibles fósiles (o un impuesto sobre las emisiones de CO₂ de los combustibles fósiles) podría complementarse, pues, con impuestos sobre las emisiones de fuentes no energéticas de CO₂, impuesto sobre las emisiones de otros GEI, y desgravaciones fiscales o subvenciones por el secuestro de carbono. En razón de los problemas administrativos y las dificultades para controlar las emisiones (secuestro) por esas diversas fuentes puede resultar inviable en algunas o todas esas situaciones la aplicación de impuestos (desgravaciones/subvenciones).

9.2.3. Permisos negociables²⁸ (SIE III, 11.5.2)

Un país comprometido a limitar sus emisiones de GEI puede aplicar tal política utilizando permisos negociables para emisiones de CO₂ relacionadas con la energía, fuentes de CO₂ no relacionadas con la energía, emisiones de otros GEI, y secuestro de carbono. Las emisiones de CO₂ relacionadas con la energía pueden controlarse mediante un sistema de permisos negociables para el contenido de carbono de combustibles sólidos consumidos. Según ese sistema, a fuentes reglamentadas se les conceden permisos (o pueden comprarlos) para el contenido de carbono del combustible fósil. Los permisos negociables pueden aplicarse también a emisiones reales de CO₂ relacionadas con la energía²⁹. Los participantes pueden vender permisos excedentes o comprar permisos para cumplir las normas reglamentarias. En la parte inferior del sistema de permisos, el efecto es comparable al de un impuesto sobre las emisiones de carbono.

En principio, también pueden utilizarse sistemas de permisos negociables para regular emisiones de CO₂ no relacionadas con la energía, emisiones de otros GEI, y secuestro de carbono. Los permisos obtenidos para el secuestro de carbono pueden venderse a fuentes que necesiten permisos para sus emisiones. A causa de las dificultades para controlar las emisiones (secuestro) tal vez no se puedan utilizar permisos negociables en algunas o todas esas situaciones. En la elección de diseños de sistemas de negociación alternativos pueden influir consideraciones como el número de participantes, la parte de las emisiones totales abarcadas, la estructura de la industria y la aplicación.

Con independencia del diseño de que se trate, hay varios factores que pueden afectar adversamente a los resultados de los sistemas de negociación de emisiones, como los casos de algunos participantes que podrían influir en el mercado de permisos o de algunas compañías que podrían influir en el mercado de productos, los costos de transacción, la optimización del comportamiento sin fines de lucro, el entorno reglamentario preexistente, y el grado de control y aplicación requerido. Algunos de esos factores pueden afectar también a los resultados de otras políticas y medidas.

Un gobierno puede elegir una de dos formas principales de distribuir permisos a las fuentes participantes. A las fuentes se les pueden asignar permisos gratis sobre la base de una regla de asignación convenida, como emisiones durante algún período anterior, o bien el gobierno puede vender los permisos en subasta, aunque este último procedimiento no se ha adoptado todavía nunca. También es posible combinar estos dos métodos.

Tales métodos difieren fundamentalmente en dos aspectos. En primer lugar, asignando permisos gratis se transfiere riqueza a las fuentes reglamentadas, en tanto que vendiendo permisos en subasta se transfiere esa riqueza al gobierno. En segundo término, asignando permisos gratis se puede aumentar la riqueza de fuentes existentes, reduciendo así la proporción de ingreso de nuevas compañías y lentificando el cambio tecnológico, si bien pueden concebirse mecanismos para reducir esos impactos potenciales.

Es importante permitir la acumulación de permisos para utilizarlos posteriormente, tanto por lo que respecta a la eficiencia como a la aceptabilidad política de un sistema de permisos negociables. Sin opción de acumulación, las fuentes a las que se pueden conceder permisos se encontrarían en una situación de mayor incertidumbre con respecto a los precios de los permisos al final del período. La acumulación facilita también los ajustes para reducir las emisiones máximas.

Tanto los impuestos como los permisos negociables tienden a igualar el costo marginal de la reducción de las emisiones para todas las fuentes afectadas. La diferencia estriba en que el impuesto lo establece el gobierno, y el nivel de las emisiones lo determinan las reacciones de las fuentes afectadas; así pues, en tanto que en un sistema de permisos negociables el gobierno determina el nivel global de las emisiones, los precios de los permisos los determina el mercado.

9.2.4. Reciclado de ingresos y sustitución de impuestos (SIE III, 11.3.2)

Los permisos subastados tienen las mismas consecuencias de distribución que un impuesto sobre las emisiones de carbono, y conducen al mismo nivel de emisiones cuando los ingresos de la subasta y del impuesto no se redistribuyen a los compradores de permisos/contribuyentes, respectivamente. En el otro extremo, los permisos distribuidos gratis tienen las mismas consecuencias de distribución que un impuesto sobre las emisiones de carbono, si el ingreso del impuesto se redistribuye según la regla utilizada para la distribución de los permisos. Las acciones para limitar los GEI pueden afectar a otras partes, y no sólo las fuentes reglamentadas, y tal vez haya que compensarlas. Para ello se pueden utilizar

²⁸ Conceptualmente, un permiso puede definirse como un derecho a liberar emisiones repetidas (p.ej., 1 t C/año en un futuro indefinido) o un derecho a emitir determinada cantidad una sola vez (p.ej., 1 t/C).

²⁹ Lo mismo que en el caso del impuesto sobre las emisiones de carbono, no es factible incluir fuentes móviles y otras fuentes pequeñas en un sistema de negociación basado en emisiones reales. Ese sistema de negociación (o impuesto) basado en el contenido de carbono de combustibles fósiles incorpora automáticamente esas emisiones.

los ingresos procedentes de un impuesto sobre las emisiones de carbono o la venta de permisos.

El efecto de un impuesto sobre las emisiones de carbono, o un sistema de permisos negociables equivalente, para una economía dependerá en parte de lo que se haga con los ingresos estatales netos, si los hubiere. Existe un amplio acuerdo en el sentido de que estos ingresos pueden utilizarse para reducir impuestos distorsionarios preexistentes, y por tanto para disminuir notablemente los costos de la reducción de las emisiones. Algunos investigadores han sugerido que quizá sea posible aumentar los ingresos nacionales utilizando los ingresos para sustituir o aliviar impuestos distorsionarios existentes. Sin embargo, otros aducen que éste es un argumento para la reforma general del sistema tributario más bien que para la introducción de un impuesto sobre las emisiones de carbono (o un sistema de permisos negociables correspondientes) *per se*.

9.3. Instrumentos económicos a nivel internacional

La cooperación internacional será necesaria para alcanzar un objetivo global de las emisiones al menor costo. Instrumentos económicos como impuestos internacionales, impuestos nacionales armonizados, cuotas negociables, y aplicación conjunta pueden ayudar a alcanzar un objetivo global, pero para ello se requiere la cooperación internacional, que en todo caso sería benéfica.

9.3.1. Impuestos internacionales e impuestos nacionales armonizados (SIE III, 11.5.3)

A nivel internacional, un impuesto sobre las emisiones de GEI podría aplicarse en una de dos formas. Los países podrían acordar la creación de un organismo internacional que aplicaría un impuesto sobre las emisiones de GEI a los países participantes. Los países podrían acordar también que cada uno de ellos aplicara impuestos nacionales comparables sobre las emisiones de GEI. En el acuerdo para crear un organismo internacional encargado de los impuestos sobre las emisiones de GEI habría que especificar el tipo o tipos impositivos y una fórmula para la distribución de los ingresos procedentes del impuesto³⁰.

Para que haya un impuesto armonizado, el tipo impositivo ha de ser el mismo en todos los países. Debido a diferencias en las dotaciones de recursos, hábitos de consumo, impactos sobre el cambio climático y otros factores, ese tipo impositivo puede no ser el más apropiado desde un punto de vista nacional, por lo que probablemente fueran necesarios otros pagos para lograr una amplia participación. En un sistema fiscal armonizado, la reasignación de los ingresos de los impuestos podría conllevar pagos a tanto alzado; y en un sistema fiscal internacional, en el acuerdo se podría especificar qué partes de los ingresos de los impuestos internacionales corresponderían a cada país participante. En principio se podrían negociar transferencias internacionales para lograr la misma distribución internacional del impuesto en ambos casos. La aplicación por un organismo internacional de un impuesto sobre las emisiones de GEI vulneraría la soberanía nacional, por lo que sería difícil negociarlo.

Por razones de rentabilidad es necesario un tipo impositivo uniforme en todos los países, pero, en vista de los diferentes regímenes existentes para gravar la energía en los países participantes, esto sería sumamente complejo.

9.3.2 Cuotas negociables³¹ (SEI III, 11.5.4)

Los países pueden negociar límites nacionales de emisiones de GEI – ya sea voluntariamente o mediante cuotas legalmente vinculantes – que deben alcanzarse en fechas especificadas. Esos límites pueden negociarse para un solo gas, para un grupo de gases, o como equivalente de CO₂ agregado. Un método más completo permite más flexibilidad y mayores economías de costo.

En vista de las diferencias en los costos marginales del control de las emisiones según los países, mediante el comercio internacional de cuotas de emisión disminuiría el costo de cumplir los límites nacionales de las emisiones con independencia de la asignación inicial. Cabría esperar que cada país redujera sus emisiones o adquiriera cuotas de otros países, de manera que la suma de ambos procedimientos no fuera superior a su límite nacional de emisión.

Se puede utilizar el sistema de asignaciones de cuotas nacionales para abordar las cuestiones de distribución y atraer a los países al acuerdo. En la mayoría de las propuestas para asignar cuotas de emisión entre países se contemplan reducciones proporcionalmente más altas de las emisiones nacionales en los países industrializados, y un crecimiento más lento de las tasas de emisión en los países en desarrollo. De esta manera, en las negociaciones internacionales se tratará de asignar cuotas que no perjudiquen a los países del Anexo I con economías en transición y a los países que no figuran en dicho anexo, y de distribuir la carga equitativamente entre los países del Anexo I.

Un sistema internacional de cuotas negociables presupone la existencia de uno o más mercados en que puedan negociarse las cuotas. Para que un sistema de negociación sea eficaz en cuanto al control de las emisiones, es evidente que ha de haber una probabilidad razonable de detectar y penalizar a los responsables de emisiones no autorizadas. Sin embargo, esto no distingue a un sistema de cuotas negociables de ningún otro acuerdo internacional sobre reducciones de emisiones.

En un sistema internacional de cuotas negociables, los países participantes pueden utilizar las políticas nacionales que

³⁰ Todas las emisiones de GEI (ajustadas en razón de sus potenciales para captar calor y tiempo de permanencia en la atmósfera) deberían someterse a impuesto (y el secuestro de carbono subvencionarse) al mismo tipo impositivo en todos los países. Como ya se ha dicho, quizá no sea práctico concebir un impuesto (desgravación) que abarque todas las fuentes (sumideros).

³¹ Con la determinación de cuotas como derecho a emitir determinada cantidad una vez se reduce el riesgo de que un gobierno actual venda futuros derechos de emisión que gobiernos futuros podrían no respetar. Así también hay menos posibilidades de que grandes países consigan la fuerza suficiente para distorsionar el mercado de cuotas.

prefieran para lograr el cumplimiento. Por ejemplo, un país puede emplear permisos negociables, un impuesto nacional o reglamentos. Cuando exista un sistema nacional de permisos negociables, el gobierno puede autorizar a los titulares de los permisos a negociarlos directamente en el mercado internacional. Si se utiliza un impuesto nacional sobre las emisiones de carbono, el tipo impositivo eficiente para el período siguiente sería el precio de la cuota (desconocido) de ese período.

Se dispone de alguna experiencia en la utilización de sistemas de permisos negociables en los países, en tanto que los sistemas internacionales de cuotas negociables sólo se han aplicado hasta ahora en pequeña escala (p.ej., la negociación internacional de cuotas de producción de CFC y la negociación de cuotas de consumo de CFC en la Unión Europea).

En un convenio fiscal internacional se conoce el tipo impositivo, pero el efecto sobre las emisiones es incierto, y las transferencias internacionales de fondos pueden o no conocerse, según como se definan en el convenio. Salvo por lo que respecta a los efectos de la fuga de carbono, un sistema de cuotas negociables tiene un efecto conocido sobre las emisiones, pero los precios de las cuotas y los efectos de distribución del comercio de cuotas son inciertos, por lo que tal vez haya que prever una protección contra los movimientos desfavorables de precios³². Esto significa que los beneficios de efectos conocidos sobre las emisiones en el sistema de cuotas negociables han de obtenerse al precio de alguna incertidumbre sobre la distribución.

9.3.3 Aplicación conjunta (SIE III, 11.5.5)

La aplicación conjunta, prevista en el apartado a) del punto 2 del artículo 4 de la CMCC, comprende la cooperación entre países para alcanzar los objetivos de la Convención. Un país (o una compañía de ese país) financia medidas para reducir las emisiones en un segundo país que vienen a sumarse a las reducciones que se lograrían de otro modo. A raíz de la reunión de Berlín (primera CP, marzo – abril de 1995), varios países están emprendiendo proyectos piloto sobre actividades realizadas conjuntamente.

Se han analizado con cierta amplitud los méritos y deméritos económicos posibles de propuestas de aplicación conjunta. Fundamentalmente, en la aplicación conjunta hay tres funciones posibles: i) como opción rentable para que países desarrollados financien proyectos de reducción de las emisiones de GEI en otros países, al mismo tiempo que satisfacen necesidades locales de desarrollo; ii) como primer paso para establecer un sistema internacional de cuotas negociables de GEI entre partes que han asumido el firme compromiso de limitar sus emisiones, y iii) como medio de explorar cuándo es rentable incluir nuevas fuentes o sumideros de emisiones en un sistema internacional existente de gestión de GEI.

La fuerza motriz potencial de la aplicación conjunta es que los países compradores y vendedores se benefician del comercio. Sin embargo, en particular para el caso i), el control y los elevados costos de las transacciones podrían plantear problemas

en la utilización de la aplicación conjunta como medio de lograr reducciones importantes y rentables de las emisiones de GEI. Además, según los convenios internacionales vigentes, los inversores en proyectos de aplicación conjunta no pueden deducir las reducciones de las emisiones de esos proyectos de los compromisos nacionales.

9.3.4 Políticas para reducir el beneficio automático y la fuga de emisiones

¿Puede resultar efectiva para reducir las emisiones globales de GEI una política unilateral de un solo país o de un grupo de países? La respuesta depende de cómo respondan los otros países a las políticas adoptadas por los países cooperantes. Esas respuestas pueden reflejar a su vez dos fenómenos: “fuga” y “beneficio automático”. El beneficio automático se da cuando los países que se benefician de la reducción global no soportan su parte en los costos de su provisión y la fuga, cuando las acciones de reducción de los países cooperantes originan el aumento de emisiones en otros países.

9.3.4.1 Medidas para reducir el beneficio automático

Mientras la participación en una política internacional de gestión de gases de efecto invernadero sea voluntaria, los países tendrán incentivos para el beneficio automático. Ninguno de los modelos empíricos existentes se ha utilizado para estimar la magnitud del beneficio automático potencial; en cambio, se han hecho algunos estudios sobre las ventajas de la plena cooperación.

La estabilidad del grupo de países que actúan para controlar los GEI dependerá de la capacidad de los países cooperantes para sancionar a los países que puedan retirarse o compensar a los países que puedan unirse. Para que sean eficaces, esas sanciones y recompensas han de ser sustanciales y creíbles. Un ejemplo de tal sanción es la amenaza de una prohibición sobre la negociación de combustibles y productos basados en carbono con países no cooperantes, una vez que determinado número de países acuerda participar (SIE III, 11.6.4.1).

9.3.4.2 Políticas para reducir las fugas

Las fugas de las emisiones son el resultado neto de varios efectos, alguno de los cuales se contrarrestan entre sí. Primero, la aplicación de una política de reducción de carbono por un país o grupo de países cooperantes puede desplazar la producción de bienes intensivos en carbono a otros países, aumentando así sus emisiones. Segundo, con las acciones de mitigación disminuiría la demanda de combustibles intensivos en carbono y bajaría el precio mundial de esos combustibles, por lo que aumentaría el uso de los mismos (y por consiguiente de sus emisiones) en países no participantes. Tercero, las acciones de reducción podrían afectar a los ingresos en los países cooperantes y disminuir, por tanto, las importaciones de otros países, en los que se reducirían

³² Si sólo participa un número limitado de países, las fugas de carbono pueden tenerse en cuenta tanto en el caso del impuesto como en el de las cuotas negociables.

Cuadro 19: Ejemplos seleccionados de instrumentos económicos para mitigar las emisiones de GEI.

Medidas	Efectos climáticos y otros efectos ambientales	Efectos económicos y sociales	Consideraciones administrativas, institucionales y políticas
Eliminación de subvenciones	– Dependen de la importancia de las subvenciones existentes y del grado de su reducción	– Aumento de los ingresos reales a la larga – Cambios en la distribución de los ingresos; los efectos dependen de cómo se redistribuyan	
Impuestos nacionales	– Pueden concebirse para lograr un objetivo de emisión nacional/internacional especificado	– Estímulo para la aplicación de las medidas de mitigación más rentables – Tipo impositivo determinado por tanteo – Impuesto sobre las emisiones de carbono regresivo, pero los efectos dependen de cómo se reciclen los ingresos de los impuestos	– Pueden vincularse a los sistemas existentes de percepción de impuestos sobre la energía
Permisos negociables	– Pueden concebirse para lograr un objetivo de emisión nacional/internacional especificado	– Estímulo para la aplicación de las medidas de mitigación más rentables – El precio de mercado de los permisos y el costo de las medidas aplicadas es incierto – Los efectos de distribución dependen de cómo se asignen los permisos y de la disposición de los ingresos, si los hubiere, procedentes de la venta de permisos	– Hace falta un mercado de permisos competitivo – Los costos administrativos dependen de la concepción del sistema – Los futuros contratos de permisos pueden distribuir los riesgos de las fluctuaciones de precios
Impuestos armonizados	– Pueden concebirse para lograr un objetivo de emisión nacional/internacional especificado	– Estímulo para la aplicación de las medidas de mitigación más rentables – Tipo impositivo determinado por tanteo – La equidad entre países depende de las asignaciones de cuotas	– Se dispone de poca información sobre la aplicación – Las políticas nacionales pueden reducir la eficacia del impuesto
Cuotas negociables	– Pueden concebirse para lograr un objetivo de emisión nacional/internacional especificado	– Estímulo para la aplicación de las medidas de mitigación más rentables – El precio de mercado de los permisos y el costo de las medidas aplicadas es incierto – La equidad entre países depende de las asignaciones de cuotas	– Hace falta un mercado de cuotas competitivo – Se dispone de poca información sobre la aplicación – Permiten flexibilidad en la elección de la política nacional
Aplicación conjunta	– Pueden reducir las emisiones con respecto a los niveles que se producirían de otro modo	– Transferencia de recursos y tecnologías a países de acogida	– Los costos administrativos pueden ser relativamente elevados – Los proyectos pueden iniciarse con relativa rapidez

a su vez los ingresos y las emisiones. Cuarto, las corrientes de inversión y los tipos de intercambio también podrían resultar afectados con impactos imprevisibles para las emisiones.

La fuga se mide en términos de emisiones de GEI netas con relación a la reducción de las emisiones en países cooperantes; las estimaciones varían ampliamente (SIE III, 11.6.4.2).

¿Cómo puede reducirse la fuga de emisiones? La teoría de negociación básica sugiere que (considerando los países cooperantes como una sola entidad y el resto del mundo como otra) se debe imponer un arancel a las importaciones de productos intensivos en carbono, o se deben subvencionar sus exportaciones, según los países cooperantes sean importadores netos o exportadores netos antes de aplicarse las medidas de mitigación.

También se puede aplicar una subvención (impuesto) a la producción y un impuesto (subvención) al consumo en los países cooperantes en lugar del arancel de importación (subvención a la exportación)³³.

La aplicación de ajustes fiscales en frontera, como aranceles de importación o subvenciones de exportación, si bien es teóricamente apropiada para reducir las fugas, plantea varios problemas en la práctica. Determinar las emisiones asociadas con la fabricación de determinado producto, y por tanto el ajuste fiscal en frontera, probablemente sea muy complejo en razón de las diferencias en la mezcla de combustible y en las técnicas de producción utilizadas en las diversas regiones. Además, los ajustes fiscales en frontera apropiados pueden no ser compatibles con las reglas actuales sobre los intercambios multilaterales. Del mismo modo, tal vez fuera prácticamente imposible aplicar subvenciones e impuestos a la producción y al consumo al nivel adecuado en todos los países cooperantes, en vista de las diferencias entre sus sistemas fiscales existentes (SIE III, 11.6.4.3).

9.4 Evaluación de instrumentos económicos

En esta sección se evalúan los instrumentos económicos por oposición a los criterios descritos en la introducción. Esta evaluación se centra en impuestos y permisos/cuotas negociables en el contexto nacional e internacional. En primer lugar, es importante reconocer que las estructuras institucionales, las estructuras económicas y las estructuras políticas existentes en los países difieren, y que la elección de instrumentos políticos se hará en un entorno político. Como resultado, es probable que la capacidad de aplicar los diferentes instrumentos varíe según las naciones. En segundo término, la adopción de cualquier instrumento internacional tendrá algunos efectos sobre la distribución de riqueza entre países, lo mismo que lo tienen los instrumentos nacionales sobre la distribución de riqueza dentro de ellos. Todos los instrumentos pueden conectarse, y probablemente haya que hacerlo, con medidas compensatorias como pagos suplementarios o asignaciones de permisos/cuotas específicos; entre instrumentos no hay diferencias a este respecto.

9.4.1 Resultados para el medio ambiente

Los sistemas de permisos/cuotas negociables pueden concebirse para lograr objetivos de emisiones de GEI nacionales e internacionales. Para alcanzar determinado objetivo de emisión con un impuesto sobre las emisiones/carbono se requiere un ajuste del tipo impositivo por tanteo. Tanto en el sistema fiscal como en el de permisos/cuotas negociables se supone el control efectivo y la aplicación forzosa y, si el convenio internacional no es global, una fuga de carbono insignificante.

9.4.2 Efectos económicos y sociales (SIE III, 11.5.6)

Desde el punto de vista conceptual, los sistemas fiscales y de permisos/cuotas negociables estimulan la aplicación de las medidas de reducción más rentables. Con el fin de alcanzar determinado objetivo de las emisiones, el impuesto y el precio de mercado de los permisos/cuotas deben ser iguales, suponiendo

que ambos se apliquen a las mismas fuentes, que los costos de las transacciones sean comparables, y que las negociaciones no se restrinjan arbitrariamente.

Los permisos negociables pueden asignarse gratuitamente o venderse en subasta. Del mismo modo, los ingresos de los impuestos pueden redistribuirse a fuentes que de otra manera recibirían permisos gratis o pueden pasar al gobierno. La manera de reciclar los ingresos netos procedentes de un impuesto sobre las emisiones de carbono o de la venta de permisos puede tener importantes efectos macroeconómicos.

Existen bastantes textos acerca de los efectos de la distribución de los impuestos sobre el carbono, los impuestos sobre las emisiones, los impuestos sobre la gasolina y los impuestos sobre la energía en países del Anexo I. Esos impuestos se presentan generalmente como regresivos, porque los gastos en el consumo de combustibles fósiles en proporción a los ingresos personales anuales corrientes suele disminuir al aumentar los ingresos. Sin embargo, estudios recientes en que se utilizan datos estadounidenses y europeos muestran que los impuestos sobre las emisiones de carbono son considerablemente menos regresivos con relación a la duración de los ingresos o los gastos de consumo anuales que los ingresos anuales.

Se dispone de muy pocos estudios sobre los efectos de la distribución de sistemas de permisos negociables. Si los permisos se venden, las consecuencias de la distribución son similares a las de un impuesto equivalente. Si los permisos se asignan *gratis*, los efectos de la distribución están determinados por la asignación inicial.

La equidad entre países viene determinada por las asignaciones de cuotas en el caso de un sistema de cuotas negociables, del acuerdo sobre distribución de los ingresos negociado para un impuesto internacional, o los pagos por transferencia negociados como parte de un sistema nacional armonizado de impuesto sobre el carbono. Para llegar a un acuerdo sobre asignaciones de cuotas equitativas o arreglos para la distribución de los ingresos se debe tener en cuenta que las acciones de mitigación por un país tienen efectos económicos sobre otros países.

9.4.3 Cuestiones administrativas, institucionales y políticas (SIE III, 11.6.2, 11.6.3)

Los costos administrativos y de las transacciones pueden variar mucho por lo que respecta a los impuestos y a los permisos negociables. Tales costos pueden reducirse considerablemente mediante una concepción apropiada. En algunos países ha sido posible aplicar un impuesto sobre las emisiones de carbono a un costo relativamente bajo basándose en gran parte en los sistemas

³³ Las reglas de la Organización Mundial del Comercio permiten ue los ajustes fiscales en frontera cuando los insumos gravados o controlados se incorporan físicamente en el producto final. Sin embargo, no está claro si esta regla se aplica a las emisiones de GEI asociadas a la fabricación de un producto o si sería posible aplicar en la práctica ese sistema de ajustes fiscales en frontera.

de percepción del impuesto sobre la energía existentes; en otros países, ha resultado políticamente difícil introducir impuestos relacionados con la energía. En los sistemas de negociación en que se utilizan permisos expedidos por el gobierno (como el sistema de negociación de límites sobre el dióxido de azufre en Estados Unidos) los costos de las transacciones son más bajos que en los sistemas que utilizan créditos autodefinidos. Al parecer, los permisos tienen la clara ventaja de crear la base para un mercado de futuros que permita repartir más eficientemente los riesgos asociados a los objetivos cambiantes de las emisiones. Para que un sistema de permisos negociables funcione eficazmente tienen que existir condiciones relativamente competitivas en el mercado de permisos (y de productos). Si una compañía controla una parte considerable del número total de permisos, puede sentir la tentación de manipular los precios de los permisos para mejorar su posición en el mercado de permisos o productos (p. ej., retirando permisos, obligando así a otros a reducir la producción o impidiendo que intervengan otras compañías). Esos riesgos pueden reducirse procediendo el gobierno a subastas de permisos y aplicando otros mecanismos. Se dispone de poca información sobre los costos administrativos del control, la aplicación y la gestión de un sistema fiscal internacional, impuestos armonizados internacionalmente, o un sistema de cuotas negociables.

9.5 Comparación de sistemas de permisos/cuotas negociables y sistemas fiscales (SIE III, 11.7.2, 11.7.3)

Tanto los impuestos como los permisos negociables imponen costos a la industria y a los consumidores. En las fuentes habrá que hacer desembolsos financieros, bien mediante gastos en los controles de las emisiones o pagos en metálico para adquirir permisos o pagar impuestos³⁴. En ambos casos, tratarán de reducir al mínimo esos costos mediante la inversión en nuevas

instalaciones y nuevo equipo.

En un impuesto sobre GEI se conoce el tipo impositivo, pero el efecto sobre las emisiones es incierto, y los efectos de distribución pueden conocerse o no. Un sistema de permisos negociables tiene un efecto conocido sobre las emisiones, pero los precios de los permisos y los efectos de la distribución a través del comercio son inciertos. Un sistema de impuestos nacionales armonizado puede abarcar un acuerdo sobre transferencias internacionales financieras compensatorias, así como sobre los ajustes necesarios para compensar las diferencias en las estructuras fiscales preexistentes. Para que un sistema de impuestos nacionales armonizado sea eficaz es imprescindible también que los participantes no puedan aplicar políticas que aumenten indirectamente las emisiones de GEI.

Un sistema de cuotas negociables permite a cada participante decidir la política nacional que aplicará. En la asignación inicial de cuotas entre países se abordan consideraciones de distribución, pero no pueden conocerse previamente con exactitud las consecuencias exactas de la distribución, pues el precio de las cuotas sólo se conocerá una vez iniciada la negociación. En un sistema de cuotas negociables, las emisiones globales resultantes se conocerán con seguridad en el caso de un acuerdo global, y las fugas netas de carbono, en el de un acuerdo no global.

³³ Naturalmente, hay una excepción: cuando una fuente ha recibido suficientes permisos *gratis* para cubrir sus emisiones. Pero, incluso en este caso, estará sometida a un costo marginal implícito de las emisiones, puesto que la reducción de éstas le permitiría vender más permisos.

Apéndice A

PROYECCIONES DE REFERENCIA

Cuadro A1: Datos globales—energía primaria consumida^a y carbono emitido^b en los escenarios IS92, subdivididos en los elementos del ciclo de combustible en que se consume el combustible primario

ESCENARIO	1990 ^c				2010				2020				2050							
	Energía utilizada total	CO ₂ emitido	Energía utilizada		CO ₂ emitido		Energía utilizada	CO ₂ emitido	Energía utilizada	CO ₂ emitido	Energía utilizada	CO ₂ emitido	Energía utilizada	CO ₂ emitido						
			a	c	e	a									c	e	a	c	e	a
Oferta																				
<i>Suministro/transformación de energía</i>																				
Generación de electricidad	123	1.7	198	165	221	2.7	1.9	3.5	253	199	292	3.3	2.1	4.5	370	242	503	3.8	1.6	6.4
Prod. de combustibles sintéticos ^d	0	0.0	0	1	1	0.0	0.0	0.0	4	6	8	-0.2	-0.3	-0.3	68	35	101	-0.1	-0.8	0.2
<i>Uso directo de combustibles por sectores</i>																				
Residencial/comercial/institucional	62	1.2	83	68	93	1.5	1.2	1.7	94	74	109	1.7	1.4	2.0	143	86	177	2.6	1.6	3.3
Industria ^e	91	1.8	123	102	137	2.4	2.0	2.7	146	114	171	2.8	2.2	3.3	176	107	216	3.5	2.1	4.2
Transporte	68	1.3	95	77	112	1.8	1.4	2.1	114	87	140	2.1	1.6	2.6	177	102	243	3.3	1.9	4.5
TOTAL	344	6.0	499	412	564	8.4	6.5	9.9	610	480	720	9.8	7.0	12.1	934	572	1240	13.1	6.4	18.6
Demanda																				
Residencial/comercial/institucional	112	1.9	151	125	170	2.5	1.9	2.9	174	138	203	2.7	1.9	3.3	261	165	344	3.8	1.9	5.3
Industria ^e	161	2.8	251	209	281	4.1	3.2	4.9	317	250	372	5.0	3.5	6.2	442	283	583	6.1	3.1	8.8
Transporte	70	1.3	97	78	115	1.8	1.4	2.1	119	91	148	2.1	1.6	2.7	231	124	313	3.2	1.4	4.5
TOTAL	344	6.0	499	412	565	8.4	6.5	9.9	610	480	723	9.8	7.0	12.1	934	572	1240	13.1	6.4	18.6
Por fuentes																				
Sólidos	100	2.5	142	113	164	3.6	2.9	4.2	179	127	221	4.5	3.2	5.6	326	141	485	8.3	3.6	12.3
Líquidos	123	2.3	154	119	195	2.8	2.2	3.6	165	122	224	3.0	2.3	4.1	144	102	214	2.7	1.9	3.9
Gases	79	1.2	129	100	141	1.9	1.5	2.1	150	101	160	2.2	1.5	2.4	145	66	156	2.2	1.0	2.3
Otros	42	0.0	74	81	65	0.0	0.0	0.0	117	129	117	0.0	0.0	0.0	318	263	385	0.0	0.0	0.0
TOTAL	344	6.0	499	412	565	8.4	6.5	9.9	610	480	723	9.8	7.0	12.1	934	572	1240	13.1	6.4	18.6

^a Energía expresada en EJ.

^b Carbono expresado como Gt C.

^c Los datos en 1990 proceden de las estimaciones de los escenarios IS92. Se incluyen aquí para calcular el cambio porcentual en el uso de la energía y las emisiones futuras. No representan consumo de energía ni emisiones reales. Los datos reales de 1990 aparecen en la Figura 1 y en el Cuadro 9.

^d Cuando se muestra que la producción de combustibles sintéticos genera emisiones de CO₂ negativas en el sector del suministro de energía es porque los combustibles sintéticos se producen de biomasa, que toma CO₂ de la atmósfera durante el crecimiento. La quema de esos combustibles se muestra como cifra positiva en el lugar de uso final.

^e En los escenarios IS92, el sector industrial comprende actividades industriales relacionadas con la fabricación, la agricultura, la minería y la silvicultura.

Cuadro A2: Datos globales—energía utilizada^a y carbono emitido^b por sector de uso final en los escenarios IS92, subdivididos en los elementos del ciclo de combustible en que se consume el combustible primario

ESCENARIO	1990 ^c				2010				2020				2050			
	Energía utilizada		CO ₂ emitido		Energía utilizada		CO ₂ emitido		Energía utilizada		CO ₂ emitido		Energía utilizada		CO ₂ emitido	
	total	a	c	e	a	c	e	a	a	c	e	a	a	c	e	a
Residencial/comercial/institucional																
Generación de electricidad	51	0.7	69	57	77	79	62	91	1.0	0.7	1.4	109	71	148	1.1	0.5
Producción de combustibles sintéticos ^d	0	0.0	0	0	0	0	0	1	2	4	-0.1	10	8	19	0	-0.1
Uso directo de combustibles	62	1.2	83	68	93	1.5	1.2	1.7	94	74	1.4	143	86	177	2.6	1.6
TOTAL	112	1.9	151	125	170	2.5	1.9	2.9	174	138	2.7	261	165	344	3.8	1.9
Industria^e																
Generación de electricidad	70	1.0	128	107	143	1.7	1.3	2.2	171	134	1.4	256	168	348	2.6	1.1
Producción de combustibles sintéticos ^d	0	0.0	0	0	0	0	0	0	1	2	-0.1	10	8	19	0	-0.1
Uso directo de combustibles	91	1.8	123	102	137	2.4	2.0	2.7	146	114	2.2	176	107	216	3.5	2.1
TOTAL	161	2.8	251	209	281	4.1	3.2	4.9	317	250	3.5	442	283	583	6.1	3.1
Transporte																
Generación de electricidad	3	0.0	1	1	2	0.0	0.0	0.0	3	3	0.0	5	4	7	0.1	0.0
Producción de combustibles sintéticos ^d	0	0.0	0	0	1	0.0	0.0	0.0	1	2	-0.1	48	18	63	-0.2	-0.5
Uso directo de combustibles	68	1.3	95	77	113	1.8	1.4	2.1	114	87	1.6	177	102	243	3.3	1.9
TOTAL	70	1.3	97	78	115	1.8	1.4	2.1	119	91	1.6	231	124	313	3.2	1.4
Todos los sectores de uso final																
Generación de electricidad	123	1.7	198	165	221	2.7	1.9	3.5	253	199	2.1	370	242	503	3.8	1.6
Producción de combustibles sintéticos ^d	0	0.0	0	1	1	0.0	0.0	0.0	4	6	-0.3	68	35	101	-0.1	-0.8
Uso directo de combustibles	221	4.2	301	246	343	5.7	4.6	6.4	354	275	5.2	496	295	637	9.3	5.6
TOTAL	344	6.0	499	412	565	8.4	6.5	9.9	610	480	7.0	934	572	1240	13.1	6.4

^a Energía expresada en EJ.

^b Carbono expresado como Gt C.

^c Los datos en 1990 proceden de las estimaciones de los escenarios IS92. Se incluyen aquí para calcular el cambio porcentual en el uso de la energía y las emisiones futuras. No representan consumo de energía ni emisiones reales. Los datos reales de 1990 aparecen en la Figura 1 y en el Cuadro 9.

^d Cuando se muestra que la producción de combustibles sintéticos genera emisiones de CO₂ negativas en el sector del suministro de energía es porque los combustibles sintéticos se producen de biomasa, que toma CO₂ de la atmósfera durante el crecimiento. La quema de esos combustibles se muestra como cifra positiva en el lugar de uso final.

^e En los escenarios IS92, el sector industrial comprende actividades industriales relacionadas con la fabricación, la agricultura, la minería y la silvicultura.

Cuadro A3: Anexo I—energía primaria consumida^a y carbono emitido^b en los escenarios IS92, subdivididos en los elementos del ciclo combustible en que se consume el combustible primario.

ESCENARIO	1990			2010						2020						2050						
	Energía utilizada		CO ₂ emitido	Energía utilizada			CO ₂ emitido			Energía utilizada			CO ₂ emitido			Energía utilizada			CO ₂ emitido			
	<i>toda</i>	<i>todo</i>		<i>a</i>	<i>c</i>	<i>e</i>	<i>a</i>	<i>c</i>	<i>e</i>	<i>a</i>	<i>c</i>	<i>e</i>	<i>a</i>	<i>c</i>	<i>e</i>	<i>a</i>	<i>c</i>	<i>e</i>	<i>a</i>	<i>c</i>	<i>e</i>	
Oferta																						
<i>Suministro/transformación de energía</i>																						
Generación de electricidad	96	1.3	141	120	153	1.9	1.4	2.4	165	135	183	2.2	1.4	2.9	187	135	234	1.9	1.0	3.1		
Prod. de comb. sintéticos	0	0.0	0	1	1	0.0	0.0	0.0	2	4	5	-0.1	-0.2	-0.2	38	18	61	0.2	-0.4	0.7		
<i>Uso directo de combustibles por sectores</i>																						
Resid./com./inst.	47	0.9	59	49	65	1.1	0.9	1.2	64	52	73	1.2	0.9	1.3	73	48	87	1.3	0.9	1.6		
Industria ^c	68	1.4	74	63	81	1.4	0.0	0.0	74	61	86	1.4	1.2	1.6	61	42	69	1.2	0.8	1.4		
Transporte	51	0.9	64	53	74	1.2	0.0	0.0	65	52	78	1.2	1.0	1.4	69	45	85	1.3	0.8	1.6		
TOTAL	262	4.5	338	286	375	5.6	2.3	3.6	370	304	425	5.9	4.4	7.1	427	288	535	5.9	3.1	8.3		
Demanda																						
Resid./com./inst.	86	1.4	108	91	119	1.7	1.4	2.0	116	95	132	1.8	1.3	2.2	134	92	166	2.0	1.1	2.7		
Industria ^c	122	2.1	165	141	181	2.7	2.1	3.1	186	154	211	2.9	2.1	3.5	196	140	242	2.6	1.4	3.7		
Transporte	53	1.0	65	0	76	1.2	1.0	1.4	68	55	82	1.2	0.9	1.4	98	56	127	1.4	0.6	1.9		
TOTAL	262	4.5	338	232	375	5.6	4.5	6.5	370	304	425	5.9	4.4	7.1	427	288	535	5.9	3.1	8.3		
Por fuentes																						
Sólidos	77	1.9	99	79	115	2.5	2.0	2.9	113	84	140	2.9	2.1	3.5	163	76	256	4.1	1.9	6.5		
Líquidos	91	1.7	100	79	122	1.8	1.4	2.3	92	71	119	1.7	1.3	2.2	46	41	49	0.9	0.8	0.9		
Gases	61	0.9	85	68	93	1.3	1.0	1.4	88	62	94	1.3	0.9	1.4	63	31	60	0.9	0.5	0.9		
Otros	34	0.0	54	60	45	0.0	0.0	0.0	77	87	72	0.0	0.0	0.0	155	140	170	0.0	0.0	0.0		
TOTAL	262	4.5	338	286	375	5.6	4.5	6.5	370	304	425	5.9	4.4	7.1	427	288	535	5.9	3.1	8.3		

^aEnergía expresada en EJ.

^bCarbono expresado como Gt C.

^cEn los escenarios IS92, el sector industrial comprende actividades industriales relacionadas con la fabricación, la agricultura, la minería y la silvicultura.

Apéndice B

DOCUMENTOS DEL IPCC UTILIZADOS COMO FUENTES DE INFORMACIÓN

SAR I

IPCC, 1996: *Climate Change 1995: The Science of Climate Change. Contribution of Working Group I to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Houghton, J.J., L.G. Meiro Filho, B.A. Callander, N. Harris, A. Kattenberg and K. Maskell (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge y New York, 584 págs.

SAR II

IPCC, 1996: *Climate Change 1995: Impacts, Adaptations, and Mitigation of Climate Change: Scientific-Technical Analyses. Contribution of Working Group II to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Watson, R.T., M.C. Zinyowera and R.H. Moss (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge y New York, 880 págs.

SAR III

IPCC, 1996: *Climate Change 1995: Economic and Social Dimensions of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Bruce, J., Hoesung Lee and E. Haites (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge y New York, 464 págs.

Síntesis del informe del SIE

IPCC, 1996: Síntesis del segundo informe de evaluación del IPCC sobre la información científica y técnica pertinente para interpretar el Artículo 2 de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Organización Meteorológica Mundial, Ginebra, 17 págs.

IPCC 1994

IPCC, 1994. *Climate Change 1994: Radiative Forcing of Climate Change and an Evaluation of the IPCC IS92 Emission Scenarios* [Houghton, J.T., L.G. Meira Filho, J.P. Bruce, Hoesung Lee, B.T. Callander, E.F. Haites, N. Harris and K. Maskell (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge y New York, 339 págs.

IPCC 1992

IPCC, 1992. *Climate Change 1992: The Supplementary Report to the IPCC Scientific Assessment. Report of the IPCC Scientific Assessment Working Group* [Houghton, J.T., B.T. Callander and S.K. Varney (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge y New York, 200 págs.

Apéndice C

ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS

ACCIG	Ciclo combinado integrado de gasificación
CEC	Calor y energía combinados
CMCC	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático
CP	Conferencia de las Partes
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación
FMAM	Fondo para el Medio Ambiente Mundial
GAHMB	Grupo Ad Hoc sobre el Mandato de Berlín
GEI	Gas de efecto invernadero
GNC	Gas natural comprimido
GNL	Gas natural líquido
GPL	Gas de petróleo licuado
IDyD	Investigación, desarrollo y demostración
IJI	Initiative on Joint Implementation (Estados Unidos)
IPCC	Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático
ISO	Organización Internacional de Normalización
IyD	Investigación y desarrollo
LESS	Sistema de suministro de energía con bajas emisiones de CO ₂
OACI	Organización de Aviación Civil Internacional de las Naciones Unidas
OCDE	Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos
OIE	Organismo Internacional de Energía
ONG	Organización no gubernamental
PCG	Potencial de calentamiento global
PIB	Producto interior bruto
PPA	Paridad de poder adquisitivo
PURPA	<i>Public Utilities Regulatory Policy Act</i>
RRP	Resumen para responsables de políticas
SIE	Segundo Informe de Evaluación
TD	Toneladas diarias
UNITAR	Instituto de las Naciones Unidas para Formación Profesional e Investigaciones
VL	Vehículo ligero
VP	Vehículo pesado

Símbolos químicos

CFC	Clorofluorocarbono
CFC-14	Tetrafluoruro de carbono (CF ₄)
CFC-116	Hexafluoroetileno (C ₂ F ₆)
C ₂ F ₆	Hexafluoroetileno (CFC-116)
CF ₄	Tetrafluoruro de carbono (CFC-14)
CH ₄	Metano
CO ₂	Dióxido de carbono
HCFC	Hidroclorofluorocarbono
HFC	Hidrofluorocarbono
N ₂ O	Óxido nitroso
NO _x	Óxidos de nitrógeno
PFC	Hidrocarburo perfluorado
SF ₆	Hexafluoruro de azufre
SO ₂	Dióxido de azufre
SO _x	Óxidos de azufre

Apéndice D

UNIDADES

Unidades del SI (Sistema Internacional)

Cantidad física	Nombre de la Unidad	Símbolo
longitud	metro	m
masa	kilogramo	kg

Múltiplo	Prefijo	Símbolo
103	kilo	k
106	mega	M
109	giga	G
1012	tera	T
1015	peta	P
1018	exa	E

Nombre y símbolos especiales para ciertas unidades derivadas del SI

Cantidad física	Nombre de la unidad del SI	Símbolo de la unidad del SI	Definición de la unidad
energía	julio	J	kg m ² s ⁻²
potencia	vatio	W	kg m ² s ⁻³ (= Js ⁻¹)

Fracciones decimales y múltiplos de unidades del SI con denominaciones especiales

Cantidad física	Nombre de la unidad	Símbolo de la unidad	Definición de la unidad
área	hectárea	ha	10 ⁴ m ²
peso	tonelada	t	10 ³ kg

Otras unidades

°C	grados Celsius (0°C = ~273K); también se indican en °C las diferencias de temperatura, en vez de en la forma más correcta de "grados Celsius"
kWh	kilovatio-hora
MW _e	megavatios de electricidad
ppmv	partes por millón (106) en volumen
ppbv	partes por mil millones (109) en volumen
pptv	partes por billón (10 ¹²) en volumen
tce	toneladas de equivalente de carbón
toe	toneladas de equivalente de petróleo
TWh	teravatio-hora

Apéndice E

GLOSARIO DE TÉRMINOS

Países del Anexo I

En el Anexo I de la CMCC figuran los países que eran miembros de la OCDE en 1992, 11 países que estaban en transición a una economía de mercado y los de la Comunidad Económica Europea. Las partes del Anexo I se han comprometido a adoptar políticas nacionales y aplicar medidas para mitigar el cambio climático.

Costos de capital

Costos asociados a los gastos de capital o de inversión en terreno, plantas, equipo y existencias. A diferencia de los costos de mano de obra y de explotación, los costos de capital son independientes del nivel de producción.

Comercialización

Serie de acciones necesarias para lograr el ingreso en el mercado y la competitividad general en el mercado de nuevas tecnologías, procesos y productos innovadores.

Rentabilidad

Criterio según el cual una tecnología o medida proporciona un bien o un servicio a un costo igual o inferior al practicado corrientemente. En el presente documento, los efectos en el medio ambiente de las actividades económicas no se internalizan; los períodos de amortización varían, según el sector del mercado de que se trate.

Potencial económico

Parte del potencial técnico para reducir las emisiones de GEI o mejorar el rendimiento energético que puede lograrse en forma rentable, sin obstáculos al mercado. Para conseguir el potencial económico hacen falta políticas y medidas adicionales que permitan derribar esos obstáculos.

Permiso negociable

Asignación no transferible o negociable de derechos de un gobierno a una empresa para emitir determinada cantidad de una sustancia.

Cuota de emisión

Porción o parte de las emisiones totales admisibles asignada a un país o grupo de países en un marco de emisiones totales máximas y asignaciones obligatorias de recursos o evaluaciones.

Norma de emisión

Nivel de emisión que no puede rebasarse en virtud de la ley.

Intensidad energética

Proporción de consumo de energía y rendimiento económico o físico. A nivel nacional, la intensidad energética es la relación entre

el consumo total de energía primaria doméstica o el consumo final de energía y el producto interior bruto o el rendimiento físico.

Externalidades

Subproductos de actividades que afectan al bienestar de la población o dañan el medio ambiente, cuando esos impactos no se reflejan en los precios de mercado. Los costos (o beneficios) asociados con externalidades no comprenden sistemas normalizados de contabilidad de costos.

Energía final

Energía suministrada de que dispone el consumidor que se convierte en energía útil (p. ej., electricidad en la toma corriente mural).

Fijación del precio basada en el costo total

Determinación del precio de bienes comerciales – como la energía eléctrica – que comprendería en los precios definitivos para el usuario final no sólo los costos privados de los insumos, sino también los costos de las externalidades creadas por su producción y utilización.

Potencial de reducción de GEI

Posibles reducciones de las emisiones de gases de efecto invernadero (cuantificadas en términos de reducciones absolutas o en porcentaje de emisiones de referencia) que pueden lograrse aplicando tecnologías y medidas.

Medidas de información y educación

Actividades que proporcionan información, formación o estímulo, o ayudan a una mayor comprensión. Pueden proporcionar información sobre la disponibilidad, el rendimiento y otras características de tecnologías, prácticas y medidas.

Fijación del precio basada en el costo marginal

Fijación de bienes y servicios comerciales según la cual el precio es igual al costo adicional derivado de la expansión de la producción en una unidad adicional.

Obstáculos al mercado

Condiciones que obstaculizan o impiden la difusión de tecnologías o prácticas rentables que pueden mitigar las emisiones de GEI.

Incentivos basados en el mercado

Medidas destinadas a cambiar directamente los precios relativos de los servicios de energía y a superar obstáculos al mercado.

Penetración en el mercado

Parte de determinado mercado proporcionada por un bien o servicio en un momento dado.

Potencial del mercado (o potencial realizable corrientemente)

Parte del potencial económico para reducir las emisiones de GEI o mejorar el rendimiento energético que puede lograrse en las condiciones de mercado existentes, suponiendo que no haya nuevas políticas ni medidas.

Medidas

Medidas que puede tomar un gobierno o un grupo de gobiernos, muchas veces con el sector privado, para acelerar el uso de tecnologías u otras prácticas que reducen las emisiones de GEI.

Sin pesar

Medidas cuyos beneficios – como mayor rendimiento o menores emisiones de contaminantes locales/regionales, pero excluidos los beneficios de la mitigación del cambio climático – igualan o superan su costo. A veces se denominan "medidas que merece la pena aplicar, de todos modos".

Costo de oportunidad

Costo de una actividad económica a la que se renuncia para realizar otra.

Políticas

Procedimientos desarrollados y aplicados por uno o varios gobiernos en relación con el objetivo de mitigar los efectos del cambio climático aplicando tecnologías y medidas.

Energía primaria

Energía contenida en recursos naturales (p. ej., carbón, petróleo bruto, luz solar, uranio) que no ha sufrido ninguna conversión o transformación antropógena.

Costos de un proyecto

Todos los costos financieros de un proyecto, como los de capital, mano de obra y funcionamiento.

Medidas reglamentarias

Reglas o códigos establecidos por gobiernos en los que se prescriben especificaciones de productos o características sobre determinados procedimientos.

Investigación, desarrollo y demostración

Investigación y desarrollo en los ámbitos científico y técnico de nuevos procesos de producción o productos, acompañados

de análisis y medidas para informar a los usuarios potenciales con respecto a la aplicación de sus posibles usos; la demostración prueba la viabilidad de aplicar esos productos o procesos a través de instalaciones experimentales y otras aplicaciones previas a las comerciales.

Escenario

Descripción plausible de cómo puede evolucionar el futuro, basado en una serie coherente e intrínsecamente homogénea de hipótesis sobre relaciones y fuerzas motrices esenciales (p. ej., ritmo de cambios tecnológicos, precios). Los escenarios no son predicciones ni previsiones.

Normas/criterios de rendimiento

Serie de reglas o códigos que determinan o definen el rendimiento de un producto (p. ej., calidad, dimensiones, características, métodos de prueba, prescripciones sobre su utilización).

Cambios estructurales

Modificación, por ejemplo, en la parte relativa del PIB producido por los sectores industrial, agrícola o de servicios de una economía; o, más generalmente, transformaciones de sistemas en las que algunos componentes son reemplazados o sustituidos parcialmente por otros.

Potencial técnico

Cantidad en la que es posible reducir las emisiones de GEI o mejorar el rendimiento energético utilizando una tecnología o práctica en todas las aplicaciones en que pueda adoptarse técnicamente, independientemente de su costo y de la viabilidad práctica.

Tecnología

Elemento de equipo o técnica para realizar determinada actividad.

Medidas voluntarias

Medidas para reducir las emisiones de GEI adoptadas por compañías u otros a falta de prescripciones gubernamentales. Las medidas voluntarias ayudan a disponer más fácilmente de productos o procesos inocuos para el clima o estimulan a los consumidores a tener en cuenta en sus opciones comerciales valores ecológicos.

Lista de publicaciones del IPCC

I. PRIMER INFORME DE EVALUACIÓN DEL IPCC (1990)

- a) **CAMBIO CLIMÁTICO — Evaluación científica del IPCC.** Informe de 1990 del Grupo de trabajo sobre la Evaluación Científica del IPCC (*también en chino, francés, inglés y ruso*).
- b) **CAMBIO CLIMÁTICO — Evaluación de los impactos del IPCC.** Informe de 1990 del Grupo de trabajo sobre Evaluación de los impactos (*también en chino, francés, inglés y ruso*).
- c) **CAMBIO CLIMÁTICO — Estrategias de respuesta del IPCC.** Informe de 1990 del Grupo de trabajo sobre Estrategias de Respuesta del IPCC (*también en chino, francés, inglés y ruso*).
- d) **Resúmenes para responsables de políticas, 1990.**

Escenarios de la emisiones (preparado por el Grupo de trabajo sobre Estrategias de Respuesta del IPCC), 1990.

Evaluación de la vulnerabilidad de las zonas costeras a la elevación del nivel del mar — metodología común, 1991.

II. SUPLEMENTO DEL IPCC (1992)

- a) **CAMBIO CLIMÁTICO 1992 — Informe suplementario a la evaluación científica del IPCC.** Informe de 1992 del Grupo de trabajo sobre Evaluación Científica del IPCC.
- b) **CAMBIO CLIMÁTICO 1992 — Informe suplementario a la evaluación de los impactos del IPCC.** Informe de 1990 del Grupo de trabajo sobre Evaluación de los impactos.

CAMBIO CLIMÁTICO: evaluaciones de 1990 y 1992 del IPCC— Primer informe de evaluación del IPCC – Resumen general y resúmenes para responsables de políticas y suplemento del IPCC de 1992 (*también en chino, francés, inglés y ruso*).

El cambio climático global y el creciente desafío del mar. Subgrupo de trabajo sobre gestión de las zonas costeras del Grupo de trabajo sobre Estrategias de Respuesta del IPCC, 1992.

Informe del Cursillo de Estudios Nacionales del IPCC, 1992.

Directrices preliminares para evaluar los impactos del cambio climático, 1992.

III. INFORME ESPECIAL DEL IPCC, 1994

- a) **Directrices de inventarios nacionales de gases de efecto invernadero** (3 volúmenes), 1994 (*también en chino, francés, inglés y ruso*).
- b) **Directrices técnicas del IPCC para evaluar los impactos del cambio climático y las estrategias de adaptación, 1995** (*también en chino, francés, inglés y ruso*).
- c) **CAMBIO CLIMÁTICO 1994 — Forzamiento radiativo del cambio climático y evaluación de los escenarios de emisiones IS92 del IPCC.**

IV. SEGUNDO INFORME DE EVALUACIÓN DEL IPCC, 1995

- a) **CAMBIO CLIMÁTICO 1995 — La ciencia del cambio climático** (incluido el Resumen para responsables de políticas). Informe del Grupo de trabajo I del IPCC, 1995.
- b) **CAMBIO CLIMÁTICO 1995 — Análisis científicos y técnicos de impactos, adaptaciones y mitigación del cambio climático.** (incluido el Resumen para responsables de políticas). Informe del Grupo de trabajo II del IPCC, 1995.
- c) **CAMBIO CLIMÁTICO 1995 — Las dimensiones económicas y sociales del cambio climático.** (incluido el Resumen para responsables de políticas). Informe del Grupo de trabajo III del IPCC, 1995.
- d) **Síntesis del Segundo informe de evaluación del IPCC sobre la información científica y técnica pertinente para interpretar el artículo 2 de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, 1995.**

(Nota: la síntesis del IPCC y los tres resúmenes para responsables de políticas se han publicado en un solo volumen y existen también en árabe, chino, francés, inglés y ruso).

IPCC Procedures for the Preparation, Review and Publication of its Technical Papers

At its Eleventh Session (Rome, 11-15 December 1995), the Intergovernmental Panel on Climate Change adopted by consensus the following procedures for the preparation of Technical Papers.

IPCC Technical Papers are prepared on topics for which an independent, international scientific/technical perspective is deemed essential. They:

- a) are based on the material already in the IPCC assessment reports and special reports;
- b) are initiated: (i) in response to a formal request from the Conference of the Parties to the UN Framework Convention on Climate Change or its subsidiary bodies and agreed by the IPCC Bureau; or (ii) as decided by the Panel;
- c) are prepared by a team of authors, including a convening lead author, selected by the IPCC Bureau, in accordance with the guidelines of the selection of lead authors contained in the IPCC Procedures;*
- d) are submitted in draft form for simultaneous expert and government review at least four weeks before the comments are due;
- e) are revised by the lead authors based upon the comments reviewed in the step above;
- f) are submitted for final government review at least four weeks before the comments are due;
- g) are finalized by the lead authors, in consultation with the IPCC Bureau which functions in the role of an editorial board, based on the comments received; and,

- h) if necessary, as determined by the IPCC Bureau, would include in an annex differing views, based on comments made during final government review, not otherwise adequately reflected in the paper.

Such Technical Papers are then made available to the Conference of the Parties or its subsidiary body, in response to its request, and thereafter publicly. If initiated by the Panel, Technical Papers are made available publicly. In either case, IPCC Technical Papers prominently state in the beginning:

“This is a Technical Paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change prepared in response to a [request from the United Nations Framework Convention on Climate Change]/[decision of the Panel]. The material herein has undergone expert and government review but has not been considered by the Panel for possible acceptance or approval.”

* Preparation of the first draft of a report should be undertaken by lead authors identified by the relevant Working Group bureau from those experts cited in the lists provided by all countries and participating organizations, with due consideration being given to those known through their publication or work. In so far as practicable, the composition of the group of lead authors for a section of a report shall reflect fair balance among different points of view that can reasonably be expected by the Working Group bureau, and should include at least one expert from a developing country.