

**Contribución del Grupo de Trabajo III al
Cuarto Informe de Evaluación del
Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático**

Resumen Técnico

Autores:

Terry Barker (Reino Unido), Igor Bashmakov (Rusia), Lenny Bernstein (Estados Unidos de América), Jean E. Bogner (Estados Unidos de América), Peter Bosch (Holanda), Rutu Dave (Holanda), Ogunlade Davidson (Sierra Leona), Brian S Fisher (Australia), Sujata Gupta (India), Kirsten Halsnæs (Dinamarca), BertJan Heij (Holanda), Suzana Kahn Ribeiro (Brasil), Shigeki Kobayashi (Japón), Mark D. Levine (Estados Unidos de América), Daniel L. Martino (Uruguay), Omar Masera (México), Bert Metz (Holanda), Leo Meyer (Holanda), Gert-Jan Nabuurs (Holanda), Adil Najam (Pakistán), Nebojsa Nakicenovic (Austria/Montenegro), Hans-Holger Rogner (Alemania), Joyashree Roy (India), Jayant Sathaye (Estados Unidos de América), Robert Schock (Estados Unidos de América), Priyadarshi Shukla (India), Ralph E. H. Sims (Nueva Zelanda), Pete Smith (Reino Unido), Dennis A. Tirpak (Estados Unidos de América), Diana Urge-Vorsatz (Hungría), Dadi Zhou (República Popular China)

Editor:

Mukiri wa Githendu (Kenia)

En este Resumen Técnico se mencionan como:

Barker T., I. Bashmakov, L. Bernstein, J. E. Bogner, P. R. Bosch, R. Dave, O. R. Davidson, B. S. Fisher, S. Gupta, K. Halsnæs, G.J. Heij, S. Kahn Ribeiro, S. Kobayashi, M. D. Levine, D. L. Martino, O. Masera, B. Metz, L. A. Meyer, G.-J. Nabuurs, A. Najam, N. Nakicenovic, H. -H. Rogner, J. Roy, J. Sathaye, R. Schock, P. Shukla, R. E. H. Sims, P. Smith, D. A. Tirpak, D. Urge-Vorsatz, D. Zhou, 2007: Resumen Técnico. En *Cambio Climático 2007: Mitigación. Contribución del Grupo de Trabajo III al Cuarto Informe de Evaluación del Panel Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático* [B. Metz, O. R. Davidson, P. R. Bosch, R. Dave, L. A. Meyer (eds)], Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido y Nueva York, NY, Estados Unidos de América.

Indice

1. Introducción	27
2. Cuestiones marco	33
3. Cuestiones relacionadas con la mitigación a largo plazo	37
4. Sector de suministro energético	44
5. Sector del transporte y su infraestructura	49
6. Sector de edificios residenciales y comerciales	54
7. Sector industrial	60
8. Sector agrícola	65
9. Sector forestal	69
10. Sector de gestión de desechos	74
11. La mitigación desde una perspectiva intersectorial	79
12. Desarrollo sostenible y mitigación	85
13. Políticas, instrumentos y acuerdos de cooperación	90
14. Brechas en el conocimiento	96

1. Introducción

Estructura del informe, razonamiento subyacente, función de los temas transversales y cuestiones marco

El objetivo de este informe es evaluar las opciones para mitigar el cambio climático. Muchos aspectos vinculan el cambio climático con cuestiones de desarrollo. Este informe analiza minuciosamente estos vínculos y muestra donde el cambio climático y el desarrollo sostenible se refuerzan mutuamente.

Las necesidades de desarrollo económico, la dotación de recursos y las capacidades de mitigación y adaptación difieren de una región a otra. No existe un enfoque que se ajuste a todos los problemas del cambio climático y las soluciones deben ser diferentes para cada región de manera que reflejen condiciones socioeconómicas diferentes, y en menor medida, diferencias geográficas. Aunque este informe tiene un enfoque mundial, se procura realizar evaluaciones diferentes de los descubrimientos científicos y técnicos para cada región.

Dado que las opciones de mitigación varían considerablemente entre los sectores económicos, se decidió utilizar los sectores económicos para organizar el material sobre opciones de mitigación de medio a largo plazo. Al contrario del Tercer Informe de Evaluación, todos los aspectos pertinentes de las opciones de mitigación sectoriales, como tecnología, costes, políticas, etc., se debaten en conjunto, a fin de suministrar al usuario un debate más amplio de las opciones de mitigación sectoriales.

Por consiguiente, el informe se divide en cuatro partes. La parte A (Capítulos 1 y 2) incluye la introducción y establece los marcos para describir la mitigación del cambio climático en el contexto de otras políticas y de la toma de decisiones. Introduce conceptos importantes (por ejemplo, riesgo e incertidumbre, relaciones entre mitigación y adaptación, aspectos de distribución y equidad e integración regional) y define términos importantes utilizados en todo el informe. La parte B (Capítulo 3) evalúa objetivos de estabilización a largo plazo, cómo llegar hasta este punto y cuáles son los costes asociados mediante el examen de escenarios de mitigación para gamas de objetivos de estabilización. También se evalúa la relación entre adaptación, mitigación y daños evitados del cambio climático, a la luz de la toma de decisiones con respecto a la estabilización (Art.2 CMCC). La parte C (Capítulos 4–10) centra su atención en la descripción detallada de los diferentes sectores responsables de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), las opciones de mitigación de corto a medio plazo y los costes en estos sectores, las políticas para lograr la mitigación, las barreras para alcanzarla y la relación con la adaptación y con otras políticas que afectan a las emisiones de GEI. La parte D (Capítulos 11–13) evalúa cuestiones intersectoriales, el desarrollo sostenible y aspectos nacionales e internacionales. El capítulo 11 trata el potencial de mitigación agregado, impactos macroeconómicos, el desarrollo tecnológico y la transferencia, sinergia y compensaciones recíprocas con otras políticas e influencias transfronterizas (o efectos cascada). El Capítulo 12 vincula la mitigación climática con el desarrollo sostenible. El Capítulo 13 evalúa las políticas climáticas nacionales y varias

formas de cooperación internacional. El Capítulo 14 adicional de este Resumen Técnico trata las brechas en el conocimiento.

Pasado, presente y futuro: tendencias de emisión

Las emisiones de los GEI abordadas en el Protocolo de Kyoto aumentaron aproximadamente un 70% (de 28,7 a 49,0 GtCO₂-eq) desde 1970 a 2004 (en un 24% desde 1990 a 2004), siendo el dióxido de carbono (CO₂) la fuente mayor con un crecimiento de aproximadamente 80% (Véase Gráfico RT.1). La mayor parte del crecimiento de las emisiones del CO₂ proviene de la generación de energía y el transporte terrestre. Las emisiones de metano (CH₄) aumentaron aproximadamente un 40% desde 1970, debido al aumento de un 85% de la combustión y uso de combustibles fósiles. Sin embargo, la agricultura es la mayor fuente de emisiones de CH₄. Las emisiones de óxido nitroso (N₂O) aumentaron aproximadamente un 50%, debido principalmente al aumento del uso de fertilizantes y el crecimiento agrícola. Las emisiones industriales de N₂O disminuyeron durante este período (*acuerdo alto, pruebas abundantes*) [1.3].

Las emisiones de sustancias que reducen la capa de ozono (por sus siglas en inglés, ODS) controladas en virtud del Protocolo de Montreal [incluidos los GEI clorofluorocarbonos (CFC) e hidroclofluorocarbonos (HCFC)] aumentaron de un nivel bajo en 1970 hasta aproximadamente 7,5 GtCO₂-eq en 1990 (aproximadamente el 20% del total de las emisiones de GEI, que no se muestran en el Gráfico RT.1), pero después disminuyeron hasta aproximadamente 1,5 GtCO₂-eq en 2004 y se prevé que disminuyan aún más debido a la eliminación progresiva de los CFC en los países en desarrollo. Las emisiones de los gases fluorinados (gases-F) (hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC) y SF₆) controlados en virtud del Protocolo de Kyoto aumentaron con rapidez (principalmente los HFC) durante el decenio de 1990, ya que reemplazan a las ODS en una magnitud considerable y se estimaron en aproximadamente 0,5 GtCO₂-eq en 2004 (aproximadamente el 1.1% del total de las emisiones sobre un potencial de calentamiento mundial (PCM) de 100 años (*acuerdo alto, pruebas abundantes*) [1.3].

Las concentraciones de CO₂ atmosférico aumentaron aproximadamente 100 ppm desde sus niveles preindustriales, alcanzando 379 ppm en 2005, con tasas de crecimiento medio anual en el período de 2000 a 2005 mayores que en el decenio de 1990. El total de la concentración de CO₂ equivalente (CO₂-eq) de todos los GEI de larga vida asciende en la actualidad a aproximadamente 455 ppm CO₂-eq. Si se incorporan los efectos de enfriamiento de aerosoles, otros contaminantes del aire y gases emitidos por el cambio en los usos del territorio al equivalente de la concentración, resulta una concentración de CO₂ eq eficaz de 311–435 ppm (*acuerdo alto, pruebas abundantes*).

Las estimaciones de las emisiones de aerosoles antropogénicos todavía presentan incertidumbres considerables. Las emisiones mundiales de sulfuro parecen haber disminuido de 75 ± 10 MtS en 1990 a 55–62 MtS en 2000. Los datos de los aerosoles sin sulfuro son escasos y muy especulativos (*acuerdo mediano, pruebas medianas*).

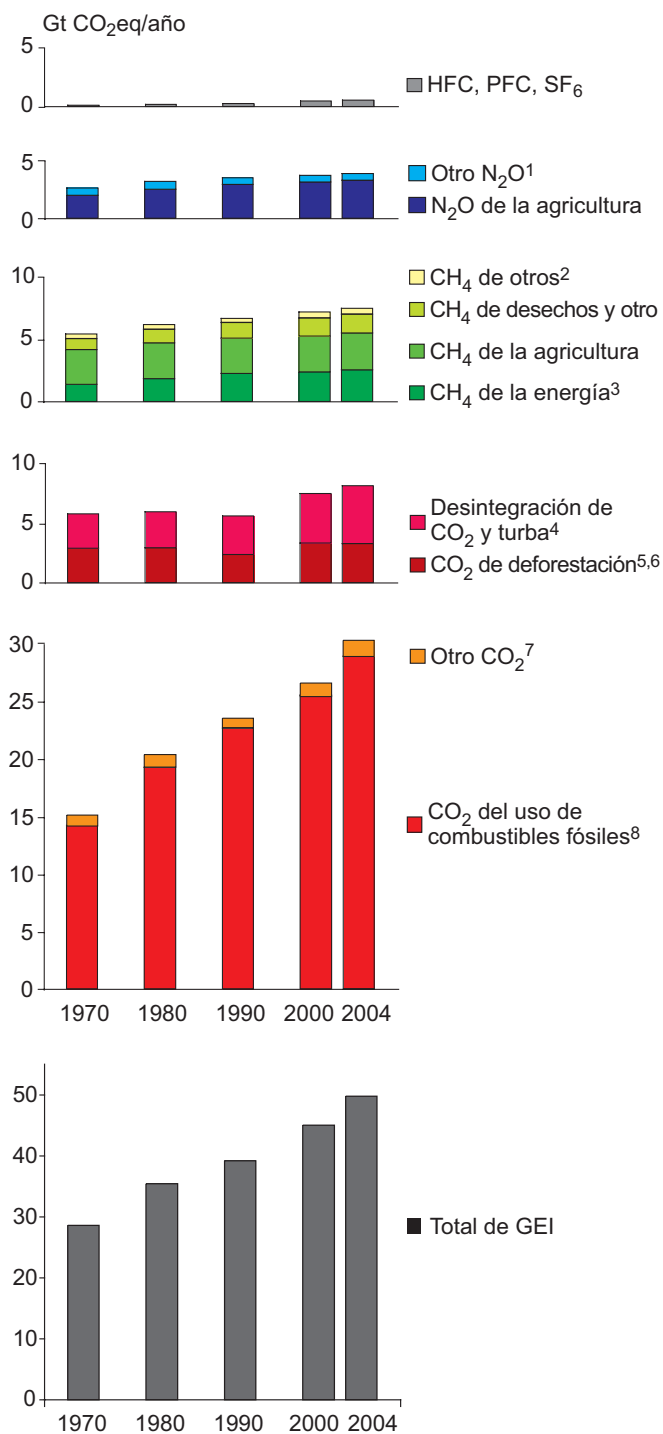


Gráfico RT.1a: Emisiones mundiales de gases de efecto invernadero antropogénicos, 1970–200. Se utilizaron potenciales de calentamiento mundial (PCM) de 100 años del IPCC 1996 (SIE) para convertir emisiones en CO₂-eq. (Véanse las directrices de la CMCC para la presentación de informes). Los gases son aquellos incluidos en las directrices de la CMCC para la presentación de informes. La incertidumbre en el gráfico es mayor para el CH₄ y N₂O (del orden del 30-50%) y aún mayor para el CO₂ procedente de agricultura y silvicultura. [Gráfico 1.1a]

Notas:

- 1) Otro N₂O incluye procesos industriales, deforestación/ quema de sabanas, aguas residuales e incineración de desechos.
- 2) Otro CH₄ proviene de procesos industriales y quema de sabanas.
- 3) Incluye emisiones procedentes de la producción y el uso de bioenergía.
- 4) Emisiones de CO₂ procedentes de la desintegración (descomposición) de la biomasa encima del suelo que permanece después de la explotación forestal y deforestación, y CO₂ de incendios de turba y desintegración de suelos de turba drenados.
- 5) Así como el uso tradicional de biomasa al 10% del total, si asumimos que el 90% se deriva de la producción sostenible de biomasa. Corregido para el 10% del carbono de la biomasa que se asume que perdura como carbón después de la combustión.
- 6) Para datos promediados de quema de biomasa de bosques y malezas a gran escala de 1997–2002 basados en datos vía satélite de la base de datos de Emisiones Mundiales de Incendios.
- 7) Producción de Cemento y quema de gas natural.
- 8) El uso de combustibles fósiles incluye emisiones de fuentes de alimentación.

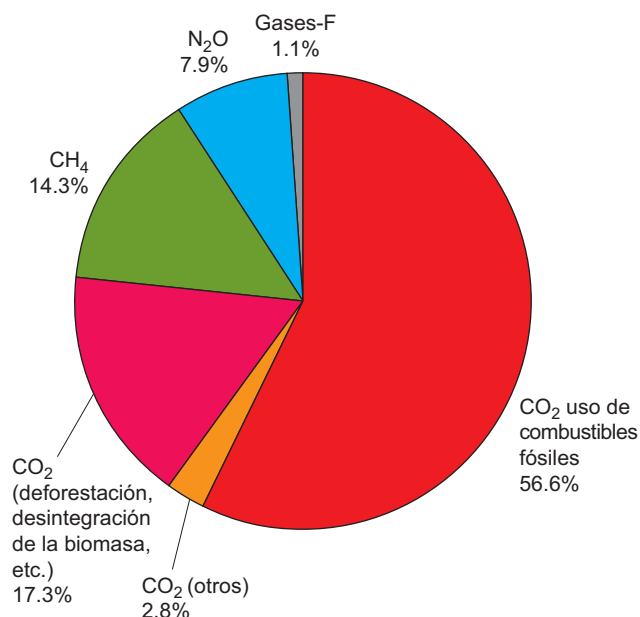


Gráfico RT.1b: Emisiones de gases de efecto invernadero antropogénicos en 2004 [Gráfico 1.1b].

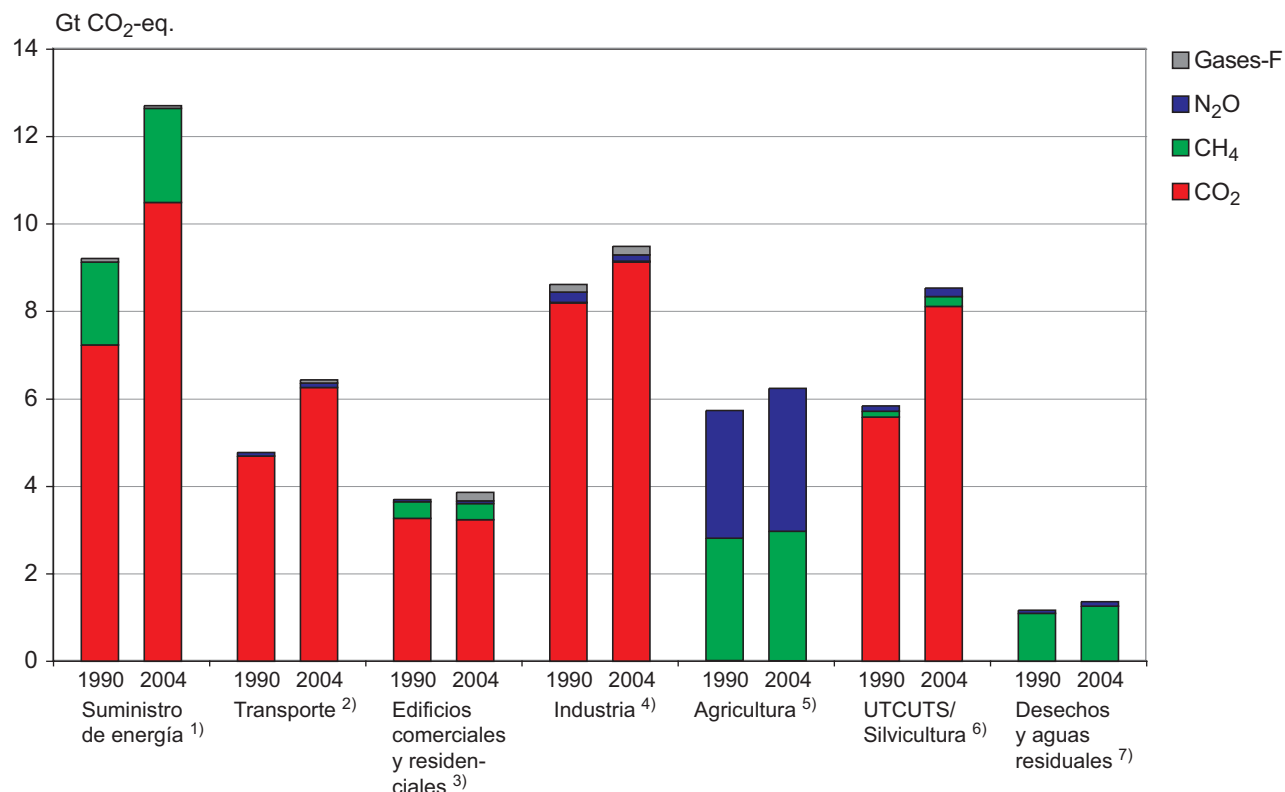


Gráfico RT.2a: Emisiones de GEI por sectores en 1990 y 2004. Se utilizó el PCM de 100 años del IPCC 1996 [Segundo Informe de Evaluación (SIE) para convertir las emisiones a CO₂-eq. La incertidumbre en el gráfico es mayor para el CH₄ y N₂O (en el orden del 30-50%) y aún mayor para el CO₂ de la agricultura y silvicultura. Para la quema de biomasa a gran escala se utilizaron datos promediados de la actividad para 1997-2002 procedentes de la base de datos de Emisiones Mundiales de Incendios basada en datos vía satélite. Las emisiones de turba (incendios y desintegración) se basan en datos recientes del Grupo de Hidráulica de la Universidad de Delft. [Gráfico 1.3a].

Notas de los gráficos RT.2a y 2b:

- 1) Excluidos refinerías, hornos de coque, etc., los cuales se incluyen en industria.
- 2) Incluido el transporte internacional (buques), excluida la pesquería. Excluidos los vehículos y maquinarias agrícolas y del sector de la silvicultura que no se usan en carreteras.
- 3) Incluido el uso tradicional de biomasa. En el Capítulo 6 las emisiones se describen sobre la base de distribución por uso final (incluida la fracción correspondiente al sector de las emisiones causadas por la generación centralizada de energía) de manera que cualquier logro de mitigación en el sector como resultado de un menor uso de la electricidad se atribuye al sector.
- 4) Incluidas refinerías, hornos de coque, etc. Las emisiones descritas en el Capítulo 7 también se analizan sobre la base de la distribución por uso final incluida la fracción correspondiente al sector de las emisiones causadas por la generación centralizada de energía) de manera que cualquier logro de mitigación en el sector como resultado de un menor uso de la electricidad se atribuye al sector.
- 5) Incluida la quema de desechos agrícolas y quema de sabanas (exentas de CO₂). En esta base de datos no se estiman las emisiones y/o eliminación de CO₂ procedentes de suelos agrícolas.
- 6) Los datos incluyen emisiones de CO₂ de la deforestación, emisiones de CO₂ de la desintegración (descomposición) de la biomasa encima del suelo que permanece después de la explotación forestal y deforestación, y CO₂ de incendios de turbas y desintegración de suelos de turba drenados. El Capítulo 9 sólo describe las emisiones de la deforestación.
- 7) Incluidos el CH₄ de vertederos, el CH₄ de aguas residuales y el N₂O y CO₂ de la incineración de desechos (solamente carbono fósil).

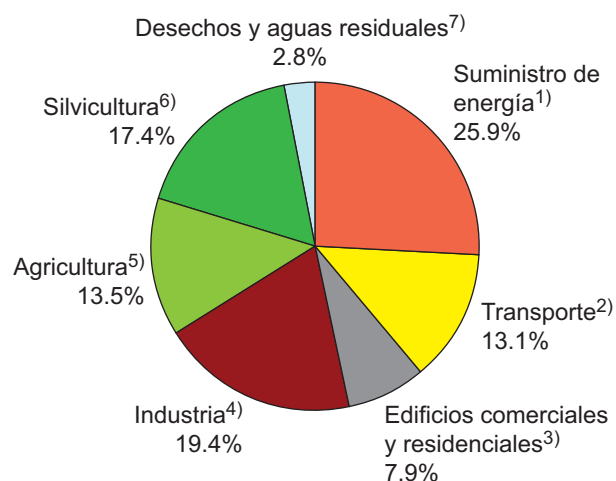


Gráfico RT.2b: Emisiones de GEI por sector en 2004 [Gráfico 1.3b].

En el año 2004, el suministro energético representó aproximadamente el 26% de las emisiones de GEI, la industria el 19%, los gases emitidos por el cambio en los usos del territorio y la silvicultura el 17%, la agricultura el 14%, el transporte el 13%, los sectores residencial, comercial y de servicios el 8% y los residuos el 3% (Véase Gráfico RT.2). Estas cifras se deben ver como indicativas, ya que perduran algunas incertidumbres, principalmente relacionadas con emisiones de CH₄ y N₂O (margen de error estimado del orden del 30–50%) y emisiones de CO₂ de la agricultura y silvicultura con un margen de error aún mayor (*acuerdo alto, pruebas medianas*). [1.3].

El Gráfico RT.3 muestra los aportes individuales a las emisiones de CO₂ relativas a la energía procedentes de cambios en la población, renta per cápita [producto interior bruto (PIB) expresado en términos de paridad de poder adquisitivo por persona – PIB ppa/cap¹, intensidad energética [Suministro de Energía Primaria Total (SEPT/PIB ppa) e intensidad de carbono (CO₂/SEPT). Algunos de estos factores aumentan las emisiones de CO₂ (barras por encima de la línea cero), mientras otros las disminuyen (barras por debajo de la línea cero). Las líneas negras discontinuas muestran el cambio real en las emisiones por decenio. De acuerdo con el Gráfico RT.3, el aumento demográfico y del PIB-ppa/cap (y, por consiguiente, el uso de energía per cápita) ha contrarrestado y se prevé que continúe contrarrestando la disminución de la intensidad energética (SEPT/PIB ppa) y ocultan el hecho de que las emisiones de CO₂ por unidad de PIB ppa son un 40% menores en la actualidad que durante los primeros años del decenio de 1970 y han disminuido más rápido que la energía primaria por unidad de PIB ppa o el CO₂ por unidad de energía

primaria. La intensidad de carbono del suministro energético (CO₂/SEPT) tuvo un efecto de compensación sobre las emisiones de CO₂ entre mediados del decenio de 1980 y el año 2000, pero a partir de entonces aumentó y se prevé que no tenga este efecto después de 2010 (*acuerdo alto, pruebas abundantes*) [1.3].

En el año 2004, los países del Anexo I contaban con el 20% de la población mundial, pero eran responsables del 46% de las emisiones mundiales de GEI. Los países que no pertenecen al Anexo I contaban con el 80% de la población mundial y solamente el 54% de las emisiones mundiales de GEI. El contraste entre la región con mayor cantidad de emisiones de GEI per cápita (América del Norte) y la región con menor cantidad (Asia Meridional no incluida en el Anexo I) es aún más pronunciado (véase el Gráfico RT.4a): el 5% de la población mundial (América del Norte) emite el 19,4%, mientras que el 30,3% (Asia Meridional no incluida en el Anexo I), emite el 13,1%. Obtendríamos otra imagen si se utiliza la medida de emisiones de GEI por unidad de PIB ppa (véase el Gráfico RT.4b). Según estos términos, los países del Anexo I generaron el 57% del producto mundial bruto con una intensidad de producción de GEI de 0,68 kg de CO₂-eq/USD PIBppa (los países que no se incluyen en el Anexo I, 1,06 kg CO₂ eq/USD PIBppa) (*acuerdo alto, pruebas abundantes*) [1.3].

El uso y suministro de energía mundial – los principales controladores de las emisiones de GEI – se prevé que continúe creciendo, principalmente a medida que los países en desarrollo persiguen la industrialización. De no existir cambios en las políticas energéticas, la combinación de energía suministrada para poner en marcha la economía mundial en el período de 2025-2030 no sufrirá

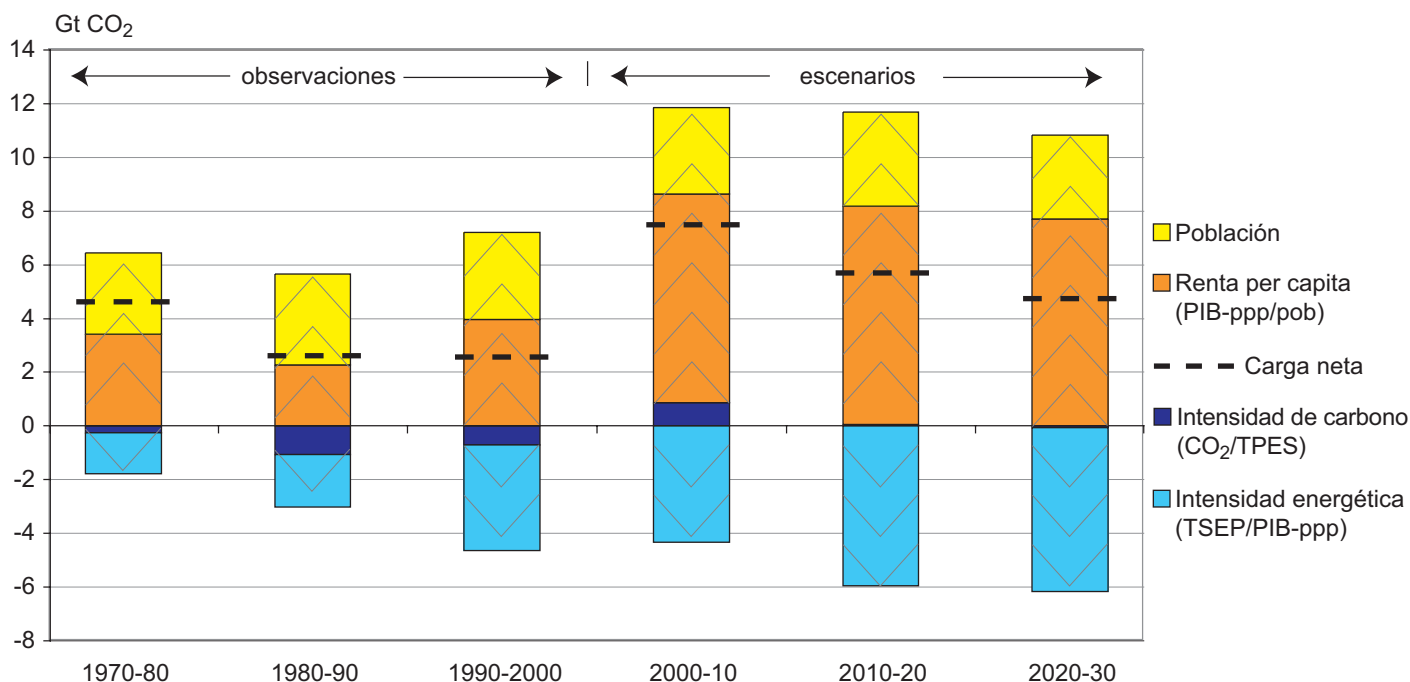


Gráfico RT.3: Descomposición de los cambios de las emisiones mundiales de CO₂ relativas a la energía a escala mundial para los tres decenios pasados y los tres decenios futuros [Gráfico 1.6].

¹ La medida PIB ppa se utiliza con fines ilustrativos solamente en este informe.

cambios esenciales, con más del 80% del suministro energético basado en combustibles fósiles con las implicaciones consecuentes de emisiones de GEI. Sobre esta base, las emisiones de CO₂ relativo a la energía previstas para 2030 son un 40–110% más altas que en 2000. Los países no incluidos en el Anexo I originarán de dos tercios a tres cuartos de este aumento, aunque las emisiones per cápita en los países desarrollados se mantendrán altas, es decir, de 9,6 tCO₂/cap a 15,1 tCO₂/cap en regiones del Anexo I frente a de 2,8tCO₂/cap a 5,1 tCO₂/cap en regiones que no se incluyen en el Anexo I (*acuerdo alto, pruebas abundantes*). [1.3].

Para el año 2030, las previsiones del total de emisiones de GEI (gases de Kyoto) muestran un aumento consistente del 25–90% con respecto al año 2000, siendo las proyecciones recientes más altas que las anteriores (*acuerdo alto, pruebas abundantes*).

Para el año 2100, la gama de escenarios IE-EE² (desde un 40% de declive hasta un 250% de aumento comparado con 2001) todavía es válida. Las proyecciones más recientes tienden

a ser más altas: aumento desde 90% hasta 250% comparado con el año 2000 (véase el Gráfico RT.5). Los escenarios que consideran las políticas climáticas, cuya implementación se discute en la actualidad, muestran, además, el aumento de las emisiones mundiales durante muchos decenios.

Los países en desarrollo (por ejemplo, Brasil, China, India y México) que han realizado esfuerzos por otros asuntos diferentes al cambio climático redujeron el crecimiento de sus emisiones durante los últimos tres decenios en aproximadamente 500 millones de toneladas de CO₂ anuales. Esto representa más de las reducciones requeridas para los países del Anexo I por el Protocolo de Kyoto. La mayoría de estos esfuerzos están motivados por el desarrollo económico y alivio de la pobreza, la seguridad energética y la protección local del medio ambiente. Por tanto, los enfoques de políticas más prometedores son aquellos que enfatizan en la sinergia natural entre la protección del clima y las prioridades de desarrollo para que ambas avancen simultáneamente (*acuerdo alto, pruebas medianas*) [1.3].

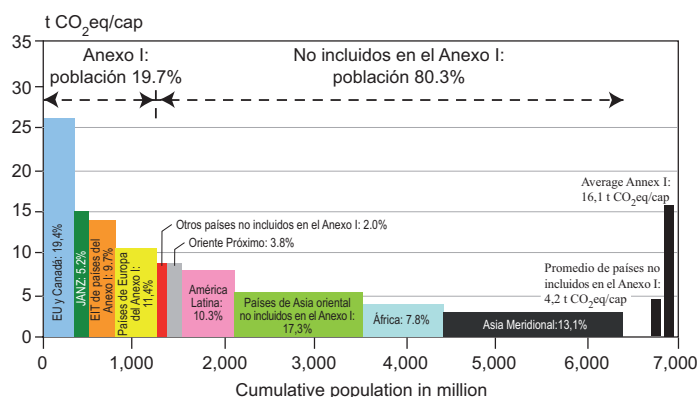


Gráfico RT.4a: Distribución de las emisiones regionales de GEI per cápita (todos los gases de Kyoto incluidos aquellos procedentes de los usos del territorio) sobre las poblaciones de diferentes grupos de países en 2004. Los porcentajes de las barras indican la porción de las emisiones mundiales de GEI atribuible a cada región [Gráfico 1.4a].

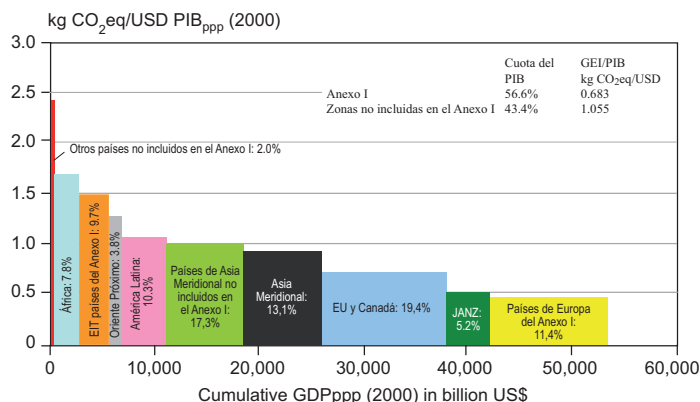


Gráfico RT.4b: Distribución de las emisiones regionales de GEI (todos los gases de Kyoto incluidos los derivados de los usos del territorio) por USD de PIBppa sobre el PIB de diferentes grupos de países en 2004. Los porcentajes de las barras indican la porción de las emisiones mundiales de GEI atribuible a cada región [Gráfico 1.4b].

Nota: Los países se agrupan de acuerdo con la clasificación de la CMCC y el Protocolo de Kyoto; significa que los países que entraron en la Unión Europea desde entonces aún se clasifican según el Anexo I EIT. No está disponible el total de los datos para todos los países para 2004. Los países en cada uno de los grupos regionales incluyen:

- **Anexo I de EIT:** Belarús, Bulgaria, Croacia, República Checa, Estonia, Hungría, Latvia, Lituania, Polonia, Rumanía, Federación Rusa, Eslovaquia, Eslovenia, Ucrania.
- **Europe Anexo II y M&T:** Austria, Bélgica, Dinamarca, Finlandia, Francia, Alemania, Grecia, Islandia, Irlanda, Italia, Liechtenstein, Luxemburgo, Holanda, Noruega, Portugal, España, Suecia, Suiza, Reino Unido, Mónaco y Turquía.
- **JANZ:** Japón, Australia, Nueva Zelanda.
- **Oriente Próximo:** Bahrein, República Islámica de Irán, Israel, Jordania, Kuwait, Líbano, Omán, Qatar, Arabia Saudita, Siria, Emiratos Árabes Unidos, Yemen.
- **América Latina y el Caribe:** Antigua y Barbuda, Argentina, Bahamas, Barbados, Belice, Bolivia, Brasil, Chile, Colombia, Costa Rica, Cuba, República Dominicana, Dominica, Ecuador, El Salvador, Granada, Guatemala, Guyana, Haití, Honduras, Jamaica, México, Nicaragua, Panamá, Paraguay, Perú, Santa Lucía, San Kitts y Nevis, San Vicente y Granadinas, Surinam, Trinidad y Tobago, Uruguay, Venezuela.
- **Asia oriental, países no incluidos en el Anexo I:** Camboya, China, Corea (RPD), Laos (RPD), Mongolia, República de Corea, Vietnam.
- **Asia Meridional:** Afganistán, Bangladesh, Bhután, Comoras, Islas Cook, Fiji, India, Indonesia, Kiribati, Malasia, Maldivas, Islas Marshall, Micronesia (Estados Federados de), Myanmar, Nauru, Niue, Nepal, Pakistán, Palau, Papua Nueva Guinea, Filipinas, Samoa, Singapur, Islas Salomón, Sri Lanka, Tailandia, Timor Oriental, Tonga, Tuvalu, Vanuatu.
- **América del Norte:** Canadá, Estados Unidos de América.
- **Otros países no incluidos en el Anexo I:** Albania, Armenia, Azerbaiyán, Bosnia-Herzegovina, Chipre, Georgia, Kazajistán, Kirguistán, Malta, Moldavia, San Marino, Serbia, Tayikistán, Turkmenistán, Uzbekistán, República de Macedonia.
- **África:** Argelia, Angola, Benin, Botswana, Burkina Faso, Burundi, Camerún, Cabo Verde, República Centroafricana, Chad, Congo, República Democrática del Congo, Costa de Marfil, Djibouti, Egipto, Guinea Ecuatorial, Eritrea, Etiopía, Gabón, Gambia, Gana, Guinea, Guinea Bissau, Kenia, Lesoto, Liberia, Libia, Madagascar, Malawi, Mauritania, Marruecos, Mauricio, Mozambique, Namibia, Niger, Nigeria, Ruanda, Sao Tomé y Príncipe, Senegal, Seychelles, Sierra Leona, Sudáfrica, Sudán, Suazilandia, Togo, Túnez, Uganda, República Unida de Tanzania, Zimbabwe.

2 IE-EE se refiere a escenarios descritos en el Informe Especial del IPCC sobre Escenarios de Emisiones (IPCC, 2000b). La familia de escenarios A1 muestra un futuro con un rápido crecimiento económico, bajo crecimiento demográfico y rápida introducción de tecnologías nuevas y más eficaces. La B1 muestra un mundo convergente, con la misma población mundial que llega a un máximo a mediados de siglo y decae después, con cambios rápidos en las estructuras económicas. La B2 «describe un mundo en el que predominan las soluciones locales a la sostenibilidad económica, social y medioambiental». Describe un crecimiento demográfico moderado, niveles intermedios de desarrollo económico y un cambio tecnológico más lento y diverso que el del escenario A1B.

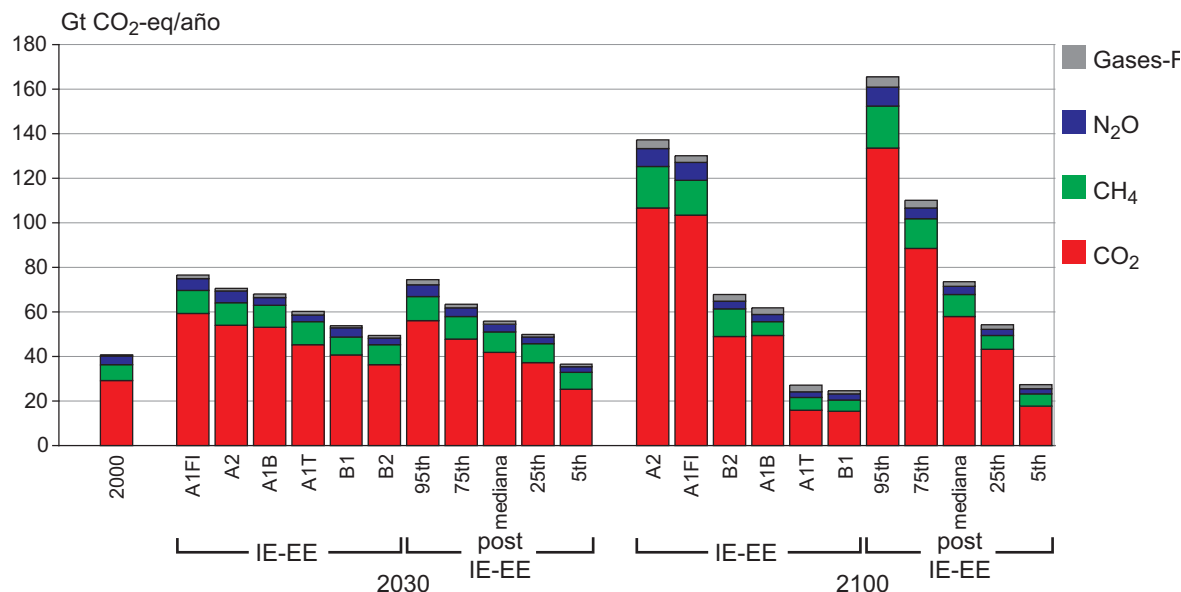


Gráfico RT.5: Emisiones mundiales de GEI en el año 2000 y emisiones de referencia pronosticadas para los años 2030 y 2100 de los escenarios IE-EE del IPCC y la literatura post escenarios IE-EE. El gráfico muestra emisiones de los seis escenarios IE-EE ilustrativos. Además, muestra la distribución de frecuencias de las emisiones en los escenarios post IE-EE (percentil 5°, 25°, mediana, 75°, 95°) de acuerdo con el Capítulo 3. Los gases-F abarcan los HFC, PFC y SF₆ [Gráfico 1.7].

Respuesta internacional

La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMCC) es el marco principal para promover las respuestas internacionales al cambio climático. Esta Convención rige desde marzo de 1994 y ha alcanzado ratificación casi universal: 189 de los 194 estados miembros de las UN (diciembre de 2006). Se estableció un Diálogo sobre la Acción Cooperativa a Largo Plazo para Tratar el Cambio Climático mediante la Mejora de la Implementación de la Convención en la CMP¹³ en el año 2005. Este diálogo constituyó un intercambio abierto de puntos de vista e información para apoyar la mejora de la implementación de la Convención.

La primera adición al tratado, el Protocolo de Kyoto, se aprobó en 1997 y entró en vigor en febrero de 2005. En febrero de 2007, 168 estados de la Comunidad Económica Europea ratificaron el Protocolo. El Artículo 3.1 del Protocolo de Kyoto establece que los integrantes del Anexo I acordaron reducir sus emisiones globales de gases de efecto invernadero al menos un 5% por debajo de los niveles de 1990. La entrada en vigor del Protocolo de Kyoto marca un primer paso, aunque modesto, hacia la obtención del objetivo final de la CMCC de evitar una interferencia antropogénica peligrosa con el sistema climático. Sin embargo, aún si todos los signatarios del Protocolo cumplieran a cabalidad sus dictados, se estaría muy lejos de revertir las tendencias globales de emisiones mundiales de GEI. Las virtudes del Protocolo de Kyoto radican en sus estipulaciones para mecanismos de mercados tales como el comercio con emisiones de GEI y su arquitectura institucional.

Sin embargo, un punto débil del Protocolo es la no ratificación de algunos emisores importantes de GEI. Se conformó un nuevo Grupo de Trabajo Ad Hoc (GTA) sobre los Compromisos de los Países del Anexo I en virtud del Protocolo de Kyoto después del 2012 en la CRP1 y se aprobó en la CRP2 que tendría lugar en el año 2008 una segunda revisión del Artículo 9 del Protocolo de Kyoto.

Existen, además, iniciativas voluntarias internacionales para desarrollar e implementar nuevas tecnologías que reduzcan las emisiones de GEI. Estas incluyen: Foro sobre Liderazgo en el Secuestro de Carbono (Carbon Sequestration Leadership Forum), que promueve la captura y almacenamiento de CO₂; la asociación Hidrógeno; la Asociación para el Mercado del Metano (Methane to Markets Partnership), y la Asociación de Asia-Pacífico para un Desarrollo y Clima Limpio (2005, Asia-Pacific Partnership on Clean Development and Climate), que incluye a Australia, Estados Unidos de América, Japón, China, India y Corea del Sur. El cambio climático se ha convertido en una preocupación cada vez más importante para los países del G8 a partir de la reunión en Gleneagles, Escocia, en 2005. En esta reunión, se desarrolló un plan de acción que involucró a la Agencia Internacional de la Energía, al Banco Mundial y la Asociación de Energía Renovable y Eficiencia Energética (Renewable Energy and Energy Efficiency Partnership) al apoyar sus esfuerzos. Además, se creó en Gleneagles un proceso de Diálogo de Energía Limpia, Cambio Climático y Desarrollo Sostenible para los mayores emisores. Se le asignó a la Agencia Internacional de la Energía (OIE) y al Banco Mundial asesorar este proceso de diálogo [1.4].

³ La Conferencia de las Partes (CDP) es la entidad suprema de la Convención y también actúa en calidad de Reunión de las Partes (RDP) del Protocolo. CRP1 es la primera reunión de la Conferencia de las Partes que actúa en calidad de Reunión de las Partes del protocolo de Kyoto.

Artículo 2 de la Convención y mitigación

El artículo 2 de la CMCC estipula que se prevenga la interferencia peligrosa en el sistema climático y, por tanto, que se establezcan las concentraciones atmosféricas de GEI a unos niveles y dentro de un marco de tiempo que logren este objetivo. El criterio en el Artículo 2 que especifica (riesgos de) cambio climático antropogénico peligroso incluye: seguridad de alimentos, protección de ecosistemas y desarrollo económico sostenible. La ejecución del Artículo 2 implica tratar un número de cuestiones complejas:

¿Qué nivel de cambio climático resulta peligroso?

Las decisiones tomadas con relación al Artículo 2 determinarían el nivel de cambio climático que se establece como meta de política y tienen implicaciones fundamentales en las vías de emisión-reducción, así como en la escala de adaptación necesaria. Escoger un nivel de estabilización implica equilibrar los riesgos del cambio climático (desde el cambio gradual a episodios extremos y cambios climáticos irreversibles, incluidos aquellos en la seguridad de alimentos, los ecosistemas y el desarrollo sostenible) con los riesgos de medidas de respuesta que pueden amenazar el desarrollo económico sostenible. Aunque, cualquier juicio de «interferencia peligrosa» es necesariamente un juicio social y político, dependiendo del nivel de riesgo considerado aceptable, las grandes reducciones de emisiones son inevitables si se debe lograr la estabilización. Cuanto menor sea el nivel de estabilización, más rápido se llevarán a cabo estas grandes reducciones (*acuerdo alto, pruebas abundantes*) [1.2].

Desarrollo sostenible:

El cambio climático antropogénico pronosticado probablemente afecte de manera adversa al desarrollo sostenible, tendiendo los efectos a aumentar a mayores concentraciones de GEI (WGII CIE, Capítulo 19). Las respuestas al cambio climático diseñadas apropiadamente pueden ser una parte integral del desarrollo sostenible y los dos se pueden reforzar mutuamente. La mitigación del cambio climático puede conservar o intensificar el capital natural (ecosistemas, el entorno como fuentes y sumideros de actividades económicas) y prevenir o evitar el daño a sistemas humanos y, por ende, contribuir a la productividad total de capital necesario para el desarrollo socioeconómico, incluida la capacidad de mitigación y adaptación. A su vez, las vías de desarrollo sostenible pueden reducir la vulnerabilidad al cambio climático y reducir las emisiones de GEI (*acuerdo mediano, pruebas abundantes*) [1.2].

Cuestiones de distribución:

El cambio climático está sujeto a una distribución muy asimétrica de las emisiones presentes y los impactos y vulnerabilidades y futuros. La equidad se puede elaborar en términos de distribución de los costes de la mitigación y adaptación, distribución de los derechos de emisiones futuras y garantía de la justicia institucional y procesal. La Convención ubica la carga mayor de los primeros pasos de la mitigación del cambio climático en las naciones industrializadas porque ellas son la fuente de la mayoría de las emisiones de GEI pasadas y actuales y tienen la capacidad técnica y financiera para actuar.

Esto se engloba en el principio de «responsabilidades comunes pero diferenciadas» (*acuerdo alto, pruebas abundantes*) [1.2].

Tiempo:

A raíz de la inercia de los sistemas climáticos y socioeconómicos, los beneficios de las acciones de mitigación que comienzan en la actualidad pueden tener resultados evitando cambios climáticos significativos solamente después de varios decenios. Esto significa que se necesita comenzar las acciones de mitigación a corto plazo para obtener beneficios a medio y largo plazo y para evitar aferrarse a tecnologías que utilizan gran cantidad de carbono. (*acuerdo alto, pruebas abundantes*) [1.2].

Mitigación y adaptación:

La mitigación y adaptación constituyen dos tipos de políticas de respuesta al cambio climático, que pueden ser complementarias, sustitutivas o independientes entre sí. Independientemente de la escala de medidas de mitigación, las medidas de adaptación se necesitarán de todas maneras debido a la inercia del sistema climático. Durante aproximadamente los próximos 20 años, aún la política climática más agresiva no podrá evitar el calentamiento que ya está «cargado» en el sistema climático. Los beneficios del cambio climático evitado solamente se acumularán después de este período. Durante marcos de tiempo más prolongados, después de los próximos decenios, las inversiones en la mitigación tienen un alto potencial para evitar el daño del cambio climático y este potencial es mayor que el de las opciones de adaptación que se pueden divisar en la actualidad (*acuerdo mediano, pruebas medianas*) [1.2].

Riesgo e incertidumbre:

Un aspecto importante de la ejecución del Artículo 2 es la incertidumbre que implica la evaluación de riesgos y severidad de los impactos del cambio climático y la evaluación del nivel de acción de mitigación (y sus costes) necesario para reducir el riesgo. Dada esta incertidumbre, la toma de decisiones sobre la ejecución del Artículo 2 se beneficiaría con la incorporación de principios de gestión de riesgos. Un enfoque de gestión de riesgos preventivo y anticipatorio incorporaría medidas de adaptación y de mitigación preventiva basadas en los costes y beneficios de los daños evitados del cambio climático, teniendo en cuenta la probabilidad (pequeña) de resultados peores (*acuerdo mediano, pruebas medianas*) [1.2].

2. Cuestiones marco

Mitigación del cambio climático y desarrollo sostenible

Existe una relación recíproca entre el cambio climático y el desarrollo. Por un lado, la vulnerabilidad al cambio climático está enmarcada e intensamente influenciada por los patrones de desarrollo y niveles de renta. Las decisiones sobre tecnología, inversión, comercio, pobreza, derechos de las comunidades, políticas sociales o gobernanza, que parecen no estar relacionadas con la política climática, pueden tener impactos profundos sobre las emisiones, la magnitud de la mitigación necesaria y los costes y beneficios resultantes [2.2.3].

Por otro lado, el mismo cambio climático y las políticas de adaptación y mitigación pueden tener impactos considerablemente positivos sobre el desarrollo en el sentido de que el desarrollo puede ser más sostenible. Por ende, las políticas de cambio climático se pueden considerar 1) por derecho propio («clima primero»); o 2) como un elemento integral de las políticas de desarrollo sostenible («desarrollo primero»). Al enmarcar el debate como un problema de desarrollo sostenible en vez de un problema solamente del medio ambiente se pueden atender mejor las necesidades de los países, a la vez que se reconoce que las fuerzas controladoras de las emisiones se vinculan a la vía subyacente de desarrollo. [2.2.3].

Las vías de desarrollo evolucionan como resultado de las transacciones económicas y sociales que reciben las influencias de las políticas gubernamentales, iniciativas del sector privado y preferencias y opciones de los consumidores. Estas incluyen una amplia gama de políticas relacionadas con la conservación de la naturaleza, marcos legales, derechos de propiedad, el orden jurídico, impuestos y regulaciones, producción, seguridad y garantía de los alimentos, patrones de consumo, esfuerzos de construcción de capacidades humanas e institucionales, I+D, esquemas financieros, transferencia de tecnología, eficiencia energética y opciones energéticas. Estas políticas generalmente no surgen y se aplican como parte de un paquete general de políticas de desarrollo, sino que normalmente sus objetivos se centran en metas de políticas más específicas como las normas sobre contaminación del aire, cuestiones de seguridad de alimentos y salud, reducción de emisiones de GEI, generación de ingresos por grupos específicos o desarrollo de industrias para tecnologías verdes. Sin embargo, pueden surgir impactos considerables de tales políticas sobre la sostenibilidad y mitigación del efecto invernadero y de los resultados de la adaptación. La estrecha relación entre la mitigación del cambio climático y el desarrollo está presente tanto en países desarrollados como en desarrollo. El Capítulo 12 y, hasta cierto punto, los Capítulos 4-11 describen estas cuestiones en detalle [2.2.5, 2.2.7].

La literatura reciente ha identificado enfoques metodológicos para identificar, caracterizar y analizar las interacciones entre el desarrollo sostenible y las respuestas al cambio climático. Muchos autores han sugerido que el desarrollo sostenible se puede analizar como un marco para la evaluación conjunta de las dimensiones sociales, humanas, medioambientales y económicas. Una forma de analizar estas dimensiones es mediante el uso de un número de indicadores económicos, medioambientales, humanos y sociales para evaluar los impactos de las políticas en el desarrollo sostenible, incluyendo patrones de medición cuantitativos y cualitativos (*acuerdo alto, pruebas limitadas*) [2.2.4].

Toma de decisiones, riesgos e incertidumbres

Las políticas de mitigación se desarrollan como respuesta a las preocupaciones sobre el riesgo de los impactos del cambio climático. Sin embargo, decidir sobre una reacción adecuada a estas preocupaciones significa enfrentarse a incertidumbres. El riesgo se refiere a casos para los que las probabilidades de resultados y sus consecuencias se pueden determinar mediante teorías bien establecidas con datos fiables y completos. La incertidumbre se refiere a situaciones donde los datos adecuados pueden estar fragmentados o no disponibles. Las causas de la incertidumbre incluyen pruebas insuficientes o contradictorias, así como comportamientos del ser humano. Las dimensiones humanas de la incertidumbre, específicamente cuestiones de coordinación y comportamiento estratégico, constituyen una parte principal de las incertidumbres relacionadas con la mitigación del cambio climático (*acuerdo alto, mucha prueba*) [2.3.3, 2.3.4].

Los análisis de apoyo a las decisiones pueden ayudar a los responsables de las decisiones, especialmente si no existe la política óptima para el consenso general. Para ello, existe una variedad de enfoques analíticos, cada uno con sus ventajas e inconvenientes, que ayuda a mantener el contenido de información del problema del cambio climático dentro de

Tabla RT.1: Definición cualitativa de incertidumbre [Tabla 2.2].

	Acuerdo alto Pruebas limitadas	Acuerdo alto Pruebas medianas	Acuerdo alto Pruebas abundantes
	Acuerdo mediano Pruebas limitadas	Acuerdo mediano Pruebas medianas	Acuerdo mediano Pruebas abundantes
	Acuerdo bajo Pruebas limitadas	Acuerdo bajo Pruebas medianas	Acuerdo bajo Pruebas abundantes
Nivel de acuerdo sobre un hallazgo en particular ↑	Cantidad de pruebas (número y calidad de fuentes independientes) →		

Nota: Esta tabla se basa en dos dimensiones de incertidumbre: la cantidad de pruebas⁴ y el nivel de acuerdo. La cantidad de pruebas disponibles sobre una tecnología dada se evalúa al examinar el número y calidad de las fuentes de información independientes. El nivel de acuerdo expresa la probabilidad subjetiva de que los resultados se hallen en el dominio de lo cierto.

4 En este informe «Prueba» se define como: información o señales que indican si una creencia o proposición es verdadera o válida. Ver Glosario.

los límites cognoscitivos de la gran cantidad de responsables de las decisiones y apoya un diálogo más eficaz entre las diferentes partes involucradas. Sin embargo, existen problemas significativos al identificar, medir y cuantificar las diferentes variables que representan información importante para cualquier marco de análisis de apoyo a la toma de decisiones, principalmente impactos sobre sistemas naturales y la salud humana sin valor de mercado y para los cuales cualquier enfoque constituye una simplificación de la realidad (*acuerdo alto, mucha prueba*) [2.3.2, 2.3.7].

Cuando se involucran en una decisión muchos responsables de decisiones con sistemas de valores diferentes, es muy importante establecer con la mayor claridad posible los juicios de valor que avalan cualquier resultado analítico que se espera que extraigan. Esto puede ser específicamente difícil y sutil donde el análisis pretende esclarecer opciones asociadas con altos niveles de incertidumbre y riesgo (*acuerdo mediano, pruebas medianas*) [2.3.2, 2.3.7].

Las evaluaciones integradas pueden brindar información a los responsables de decisiones sobre la relación entre el cambio climático geográfico, los pronósticos del impacto climático, el potencial de adaptación y los costes de las reducciones de emisiones y los beneficios del daño del cambio climático evitado. Estas evaluaciones presentan marcos para tratar los datos incompletos o imprecisos.

Con el fin de comunicar las incertidumbres involucradas, este informe utiliza los términos de la Tabla RT.1 para describir los niveles relativos de acuerdo entre los expertos sobre las afirmaciones respectivas a la luz de la literatura subyacente (en filas) y el número y calidad de las fuentes independientes admitidas en virtud de las normas⁵ del IPCC sobre las que se basa un hallazgo (en columnas). En este informe no se utilizan los otros enfoques de «probabilidad» y «confianza» en lo que se refiere a opciones de los seres humanos. Ninguno de los otros enfoques utilizados caracteriza completamente a las incertidumbres involucradas en la mitigación (*acuerdo alto, pruebas abundantes*) [2.4].

Costes, beneficios, conceptos que incluyen perspectivas de costes privados y sociales, y relaciones con otros marcos de toma de decisiones

Existen diferentes maneras de definir el potencial de mitigación y resulta, por tanto, importante especificar a qué potencial nos referimos. «Potencial» se usa para expresar el grado de reducción de GEI que puede alcanzar una opción de mitigación con un coste dado por tonelada evitada de carbono en un período dado, comparado con una línea o caso de referencia. Generalmente, la medida se expresa como millones de toneladas de carbono o emisiones de CO₂-eq evitadas comparadas con emisiones de línea de base [2.4.3].

Potencial de mercado es el potencial de mitigación basado en los costes privados y las tasas de descuento privadas⁶, que se podría esperar que ocurriesen bajo condiciones previstas de mercado, incluidas políticas y medidas puestas en práctica. Nótese que las barreras limitan la absorción real.

Potencial económico es la cantidad de mitigación de GEI, que tiene en cuenta los costes y beneficios sociales y las tasas de descuento sociales⁷ si asumimos que las políticas y medidas mejoran la eficacia del mercado y se eliminan barreras. Sin embargo, los estudios descendentes y ascendentes del potencial económico presentan restricciones a la hora de considerar las opciones de estilos de vida y e incluir todos los factores externos como la contaminación local del aire.

Potencial técnico es la cantidad en que es posible reducir las emisiones de GEI al utilizar una tecnología o práctica que ya esté demostrada. No se hace referencia específica a los costes en este caso, sólo a las «restricciones prácticas», aunque se tienen en cuenta en algunos casos consideraciones económicas implícitas (*acuerdo alto, pruebas altas*) [2.4.3].

Se pueden utilizar los estudios del potencial de mercado para que los responsables de decisiones conozcan el potencial de mitigación con las políticas y barreras existentes. Por otra parte, los estudios de potenciales económicos muestran qué podría obtenerse si se pusiesen en práctica políticas nuevas, adecuadas y adicionales para eliminar las barreras e incluir costes y beneficios sociales. Por tanto, el potencial económico es generalmente mayor que el potencial de mercado. El potencial de mitigación se calcula utilizando dos enfoques diferentes. Existen dos clases amplias: enfoque «ascendente» y enfoque «descendente», que se utilizaron en principio para evaluar el potencial económico:

- **Los estudios ascendentes** se basan en evaluaciones de las opciones de mitigación con particular énfasis en tecnologías y regulaciones específicas. Normalmente se trata de estudios sectoriales que consideran la macroeconomía sin cambios. Se agregaron las estimaciones del sector, como en el TAR, a fin de suministrar una estimación del potencial de mitigación mundial para esta evaluación.
- **Los estudios descendentes** evalúan el potencial para toda la economía de las opciones de mitigación. Utilizan marcos uniformes en todo el mundo e información adicional sobre las opciones de mitigación y capturan las retroalimentaciones macroeconómicas y de mercado.

Por una parte, los estudios ascendentes son útiles para evaluar las opciones específicas de políticas a nivel sectorial, por ejemplo, opciones para mejorar la eficiencia energética. Por otra parte, los estudios descendentes son útiles para evaluar las políticas del cambio climático intersectoriales y económicas, tales como políticas de impuestos sobre el carbono y de estabilización. Los modelos ascendentes y descendentes se han vuelto más similares desde el TAR, ya que los modelos descendentes han incorporado

⁵ Las normas del IPCC permiten el uso de literatura revisada y no revisada por expertos que los autores consideran de calidad equivalente.

⁶ Los costes privados y tasas de descuento reflejan las perspectiva de los consumidores y empresas privadas; ver Glosario para más detalles.

⁷ Los costes sociales y tasas de descuento reflejan la perspectiva de la sociedad. Las tasas de descuento sociales son menores que las usadas por los inversores privados; ver Glosario para más detalles.

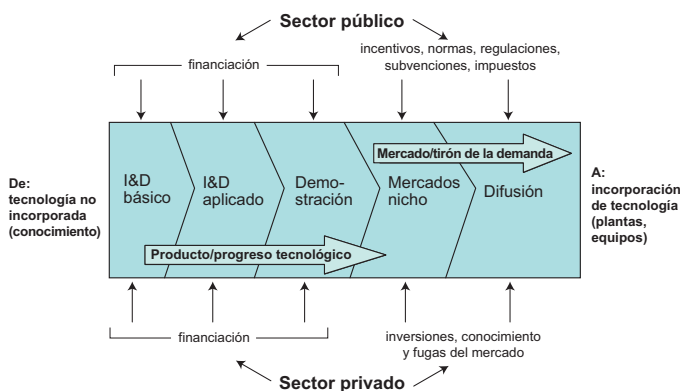


Gráfico RT.6: Ciclo de desarrollo tecnológico y sus fuerzas controladoras principales [Gráfico 2.3].

Nota: Existen puntos comunes y retroefectos importantes entre las fases estilizadas del ciclo de vida de la tecnología ilustrado en este gráfico. Por tanto, el gráfico no sugiere un modelo «lineal» de innovación. Es importante reconocer la necesidad de una mejor distinción terminológica de «tecnología», especialmente cuando se debaten opciones diferentes de mitigación y adaptación.

más opciones tecnológicas de mitigación (véase el Capítulo 11) y los modelos ascendentes han incorporado más retroefectos macroeconómicos y de mercado, además de adoptar el análisis de barreras en las estructuras de sus modelos.

Relaciones de mitigación y adaptación; capacidades y políticas

La mitigación y la adaptación al cambio climático tienen algunos elementos comunes que pueden ser complementarios, sustitutivos, independientes o competitivos al tratar el cambio climático y, además, presentan características y escalas de tiempo muy diferentes [2.5].

Tanto la adaptación como la mitigación exigen capacidades a las sociedades, las cuales están estrechamente relacionadas con el desarrollo social y económico. Las respuestas al cambio climático dependen de la exposición al riesgo climático, los activos de capital naturales y fabricados por el hombre de la sociedad, el capital humano y las instituciones, así como de la renta. Estos factores en conjunto definen las capacidades de adaptación y mitigación de la sociedad. Las políticas que apoyan el desarrollo y aquellas que intensifican su capacidad de adaptación y mitigación pueden, pero no necesitan, tener mucho en común. Las políticas pueden escogerse para que tengan impactos sinérgicos sobre el sistema natural y el sistema socioeconómico, pero a veces hay que hacer elecciones difíciles. Los factores principales que determinan la capacidad que tienen las partes individuales y la sociedad para ejecutar la mitigación y la adaptación al cambio climático incluyen: acceso a recursos, mercados; finanzas, información y un número de cuestiones relacionadas con la gobernanza (*acuerdo mediano, pruebas limitadas*) [2.5.2].

Cuestiones de distribución y equidad

Las decisiones sobre el cambio climático tienen grandes implicaciones para la equidad local, nacional, interregional e intergeneracional. La aplicación de diferentes enfoques

de equidad tiene implicaciones importantes para las recomendaciones de políticas, así como para la distribución de costes y beneficios de las políticas climáticas [2.6].

Se pueden aplicar enfoques diferentes de justicia social para evaluar las consecuencias para la equidad de las políticas de cambio climático. Según el Tercer Informe de Evaluación (en sus siglas en inglés, TAR), es más eficaz buscar enfoques prácticos que combinen los principios de equidad, dadas las marcadas preferencias subjetivas por ciertos principios de equidad entre las diferentes partes. Los enfoques de equidad varían desde enfoques económicos tradicionales hasta enfoques basados en derechos. Un enfoque económico sería evaluar las pérdidas y ganancias de bienestar para grupos diferentes y la sociedad en general, mientras que un enfoque basado en derechos se centraría en los derechos, por ejemplo, en términos de emisiones per cápita o GEI permitidos en todos los países, independientemente de los costes de mitigación o capacidad de mitigación. Además, la literatura incluye un enfoque de capacidad que enfatiza las oportunidades y la libertad, que en términos de política climática se puede interpretar como la capacidad para mitigar o adaptarse o evitar la vulnerabilidad al cambio climático (*acuerdo mediano, pruebas medias*) [2.6.3].

Investigación, desarrollo, implementación, difusión y transferencia de tecnología

El ritmo y coste de cualquier respuesta a las preocupaciones sobre el cambio climático dependerá también críticamente del coste, desempeño y disponibilidad de tecnologías que puedan disminuir las emisiones en el futuro, aunque son muy importantes otros factores como el crecimiento de la riqueza y demográfico [2.7].

La tecnología influye simultáneamente en la dimensión del problema del cambio climático y el coste de su solución. La tecnología es un conjunto amplio de aptitudes y herramientas que cubren los conocimientos, experiencia y equipamiento, utilizada por los seres humanos para producir servicios y transformar recursos. La función principal de la tecnología para mitigar las emisiones de GEI es controlar el coste social de las reducciones de las emisiones. Muchos estudios muestran el valor económico significativo de las mejoras en las tecnologías para mitigar las emisiones que ya se utilizan y el desarrollo e implementación de tecnologías avanzadas para mitigar las emisiones (*acuerdo alto, pruebas abundantes*) [2.7.1].

Se prevé que una carpeta amplia de tecnologías desempeñe un papel a la hora de alcanzar los objetivos de la CMCC y gestionar los riesgos del cambio climático, debido a la necesidad de reducir las emisiones en gran medida, la gran variación de las circunstancias nacionales y la incertidumbre sobre el desempeño de opciones individuales. Las políticas climáticas no representan el único determinante del cambio tecnológico. Sin embargo, una revisión de los escenarios futuros (véase el Capítulo 3) indica que la tasa total del cambio de tecnologías en ausencia de políticas climáticas podría ser tan grande como, o aún más grande que, la influencia de las propias políticas climáticas (*acuerdo alto, pruebas abundantes*) [2.7.1].

El cambio tecnológico es especialmente importante durante las escalas de tiempo a largo plazo que caracterizan al cambio climático. Las escalas de tiempo que duran decenios o siglos son típicas de los retrasos entre la innovación tecnológica y la difusión general y de las tasas de rotación de capital características de las existencias de capital e infraestructuras energéticas duraderas.

Muchos enfoques se utilizan para dividir el proceso del cambio tecnológico en fases diferentes. Una consiste en considerar el cambio tecnológico como un proceso dividido en dos partes: 1) concebir, crear y desarrollar nuevas tecnologías o mejorar las tecnologías existentes; mejorar la «frontera tecnológica»; 2) la difusión o implementación de estas tecnologías. Nuestra comprensión de la tecnología y su función al tratar el cambio climático mejora cada día. Sin embargo, resultan complejos los procesos de creación, desarrollo, implementación y, finalmente, reemplazo de la tecnología (véase el Gráfico RT.6) y no existen descripciones sencillas de estos procesos. El desarrollo e implementación tecnológico se caracteriza por dos problemas de bienes públicos. En primer lugar, el nivel de I+D no es óptimo porque los responsables de decisiones privados no pueden captar el valor total de las inversiones privadas. En segundo lugar, existe un problema clásico de efectos externos en el medio ambiente, ya que los mercados privados no reflejan el coste total del cambio climático (*acuerdo alto, pruebas abundantes*) [2.7.2].

Tres fuentes importantes de cambio tecnológico son: I+D, aprendizaje y fugas.

- I+D abarca un amplio conjunto de actividades en las cuales las firmas, gobiernos y otras entidades disponen recursos principalmente para obtener nuevos conocimientos que se pueda incluir en tecnologías nuevas o mejoradas.
- Aprendizaje es el resultado agregado de fuentes complejas subyacentes de avances tecnológicos que a menudo incluyen aportes importantes de I+D, fugas y economías de escala.
- Fugas se refiere a la transferencia de conocimiento o beneficios económicos de la innovación de una firma, industria u otra entidad individual, o de una tecnología a otra.

En general, las pruebas empíricas y teóricas sugieren claramente que estas tres fuentes desempeñan una función importante en el avance tecnológico y no existe una razón convincente para creer que una es más importante que las otras. Como las fugas de otros sectores ha tenido un gran efecto en la innovación del sector energético, una base tecnológica sólida y amplia puede ser tan importante para el desarrollo de tecnologías pertinentes al cambio climático como el cambio climático explícito o la investigación energética. Se necesita una carpeta amplia de investigaciones porque no se pueden identificar con antelación los ganadores y perdedores. Las fuentes del cambio tecnológico frecuentemente se incluyen dentro de los controladores generales «presión de la oferta» (por ejemplo, vía I+D) o «tirón de la demanda» (por ejemplo, vía aprendizaje). Sin embargo, estos no constituyen simplemente sustitutos, sino que pueden presentar interacciones altamente complementarias (*acuerdo alto, pruebas abundantes*) [2.7.2].

Con relación a la transferencia tecnológica, todavía tienen validez los principales hallazgos del Informe Especial del IPCC sobre Cuestiones Metodológicas y Tecnológicas de la Transferencia de Tecnología (2000): se necesita crear un entorno apropiado favorable en países anfitriones y destinatarios (*acuerdo alto, pruebas abundantes*) [2.7.3].

Dimensiones regionales

Los estudios sobre el cambio climático utilizan definiciones regionales diferentes, en dependencia del carácter del problema considerado y las diferencias en los enfoques metodológicos. La cantidad de representaciones regionales posibles impide la comparación y transferencia de información entre los diferentes tipos de estudio realizados en regiones y escalas específicas. Este informe ha seleccionado vías pragmáticas para analizar la información regional y presentar los hallazgos [2.8].

3. Cuestiones relacionadas con la mitigación a largo plazo

Controladores de escenarios de línea de base

Las proyecciones demográficas son generalmente más bajas en la actualidad que en los Escenarios de Emisiones (IE-EE) del Informe Especial del IPCC, basadas en datos recientes que indican que las tasas de natalidad disminuyeron enormemente en muchas partes del mundo. Hasta el momento, muchos de los escenarios de emisiones nuevos no han implementado estas nuevas proyecciones demográficas que recoge la literatura. Los estudios que las incorporaron muestran más o menos los mismos niveles de emisiones totales debido a cambios en otros factores controladores como el crecimiento económico (*acuerdo alto, pruebas abundantes*) [3.2.1].

Las perspectivas de crecimiento económico no han cambiado mucho. Existe un área común considerable en los números publicados del PIB, con un leve cambio descendente de la mediana de los escenarios nuevos de aproximadamente un 7% comparado con la mediana que recoge la literatura anterior a los IE-EE. Los datos no muestran cambios sensibles en la distribución de las proyecciones del PIB. Las proyecciones de crecimiento económico para África, América Latina y el Medio Oriente son menores que las de los escenarios IE-EE (*acuerdo alto, pruebas abundantes*) [3.2.1].

Escenarios de emisiones de línea de base (todos los gases y sectores)

El resultado de la distribución de las emisiones de CO₂ relacionado con la energía e industria en el año 2010 para los escenarios de línea de base que recoge la literatura post-IE-EE es muy grande y oscila entre 17 y, aproximadamente, 135 GtCO₂-eq (4,6-36,8 GtC)⁸, aproximadamente el mismo intervalo que los IE-EE (Gráfico RT.7). Diferentes razones pueden

8 Este es el 5º de 95º percentil de la distribución total.

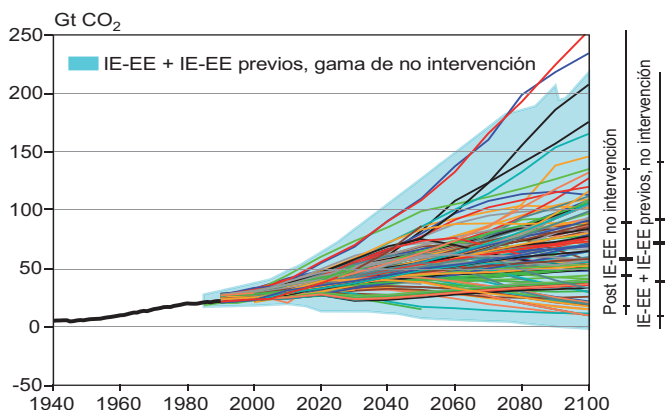


Gráfico RT.7: Comparación de los escenarios IE-EE y anteriores a IE-EE de emisiones de CO₂ industrial y relativo a energía en la literatura y los escenarios post IE-EE [Gráfico 3.8].

Nota: las dos barras verticales de la derecha que se extienden desde el mínimo hasta el máximo de la distribución de los escenarios indican los percentiles 5°, 25°, 50°, 75° y 95° de las distribuciones para el año 2100.

contribuir al hecho de que las emisiones no disminuyeron a pesar de proyecciones demográficas y de PIB más bajas. Las proyecciones demográficas más bajas resultarían en emisiones más bajas, si todos los demás factores se mantuviesen estables. Sin embargo, en los escenarios que utilizan proyecciones más bajas, los cambios en otros controladores de emisiones han compensado parcialmente las consecuencias de poblaciones más bajas. Pocos estudios incorporaron proyecciones demográficas más bajas, pero cuando lo hicieron, mostraron que las poblaciones más bajas se compensan con mayores tasas de crecimiento económico y/o un cambio hacia un sistema energético que utiliza más carbono, como el cambio a carbón debido al aumento de los precios del petróleo y gas. La mayoría de los escenarios indican un aumento de las emisiones durante la mayor parte del siglo. Sin embargo, existen algunos escenarios de línea de base (de referencia) en la literatura actual y pasada donde las emisiones llegan a un máximo y luego disminuyen (*acuerdo alto, pruebas abundantes*) [3.2.2].

Se prevé un aumento de las emisiones de GEI de línea de base relativas a la tierra a medida que aumenten las necesidades de cultivos, pero a un ritmo menor que el de las emisiones relacionadas con la energía. En cuanto a las emisiones de CO₂ relacionadas con el cambio en los usos del territorio (principalmente deforestación), los escenarios post IE-EE muestran una tendencia similar a los escenarios IE-EE: una disminución leve, con probabilidades de llegar a cero emisiones netas a finales de siglo.

Se prevé un aumento de las emisiones de GEI exentas de CO₂ como grupo (principalmente de la actividad agrícola), pero a un ritmo algo menor que el de las emisiones de CO₂, porque las fuentes más importantes de CH₄ y N₂O son las actividades agrícolas y la agricultura aumenta a un ritmo menor que el uso energético. Las proyecciones de emisiones de la literatura actual son similares a las de IE-EE. Los escenarios recientes de emisiones de GEI de línea de base exentas de CO₂ sugieren que las emisiones agrícolas de CH₄ y N₂O aumentarán hasta finales

del siglo, con tendencia potencial a la duplicación en algunos escenarios de línea de base. Aunque se prevé la disminución de las emisiones de algunos compuestos fluorinados, se espera que muchos aumenten considerablemente debido a la rápida tasa de crecimiento de algunas industrias emisoras y el reemplazo de ODS por HFC (*acuerdo alto, pruebas medias*) [3.2.2].

Las proyecciones de las emisiones de precursores de aerosoles como el SO₂ y NO_x cambiaron sensiblemente desde los IE-EE. La literatura actual muestra un crecimiento menor a corto plazo de estas emisiones que el de los IE-EE. Como consecuencia, también son menores los intervalos a largo plazo de ambas fuentes de emisiones en la literatura actual. Los escenarios recientes pronostican que las emisiones de sulfuro alcancen un máximo más temprano y a niveles más bajos que los de los IE-EE. Una pequeña cantidad de escenarios nuevos comenzaron a evaluar las rutas de emisiones para el carbono negro y orgánico (*acuerdo alto, pruebas medianas*) [3.2.2].

En general, la comparación de los IE-EE y los nuevos escenarios en la literatura muestran que no han cambiado mucho los intervalos de las fuerzas controladoras principales y las emisiones.

Medida del PIB

Para los escenarios a largo plazo, el crecimiento económico se describe generalmente en forma de crecimiento del PIB o producto nacional bruto (PNB). Para lograr una comparación con sentido del tamaño real de las actividades económicas durante el tiempo y entre países, el PIB se expresa como los precios constantes tomados durante un año base.

La opción del factor de conversión, Tasa de Cambio del Mercado (TCM) o Paridad de Poder Adquisitivo (PPA), depende del tipo de análisis que se realice. Sin embargo, cuando se trata de calcular emisiones (u otras medidas físicas como la energía), no debe importar la opción entre el TCM y las representaciones basadas en el PPA del PIB, porque la intensidad de emisiones se modificará (de manera compensatoria) cuando se modifiquen los valores del PIB. Por tanto, si se utiliza un conjunto de parámetros de medición consistente, la opción de parámetro de medición no debe afectar sensiblemente el nivel de emisión final. Una serie de estudios recientes en la literatura concuerdan en que la opción real de las tasas de intercambio no tiene un efecto sensible en las proyecciones de emisiones a largo plazo. En el caso de los IE-EE, las trayectorias de emisiones son las mismas independientemente de que las actividades económicas de las cuatro familias de escenarios se midan en TCM o PPA.

Algunos estudios encuentran diferencias en los niveles de emisión entre las estimaciones basadas en PPA y TCM. Estos resultados dependen en gran medida de la convergencia de suposiciones, entre otros factores. En algunos de los escenarios a corto plazo (con un horizonte en 2030) se utiliza un enfoque específico donde las suposiciones sobre el crecimiento económico y las decisiones de inversión/ahorro constituyen los controladores principales de crecimiento en los modelos. En los escenarios a largo plazo, se utiliza comúnmente un

enfoque descendente donde las tasas reales de crecimiento se dictan directamente sobre la base de la convergencia u otras suposiciones sobre los potenciales de crecimiento a largo plazo. Las diferencias en los resultados pueden deberse también a inconsistencias al ajustar los parámetros de medida de las mejoras en la eficiencia energética cuando se cambia de cálculos basados en TCM a cálculos basados en PPA.

Las pruebas de un número limitado de estudios nuevos basados en PPA indican que la elección de parámetro de medida para el PIB (TCM o PPA) no afecta sensiblemente las emisiones previstas, cuando los parámetros de medida se utiliza consistentemente. Las diferencias, de existir alguna, son pequeñas comparadas con las incertidumbres causadas por las suposiciones sobre otros parámetros, por ejemplo, el cambio tecnológico. Sin embargo, el debate muestra la necesidad de que los modeladores sean más transparentes al explicar los factores de conversión, así como al realizar suposiciones sobre factores exógenos (*acuerdo alto, pruebas abundantes*) [3.2.1].

Escenarios de estabilización

Un objetivo muy utilizado en la literatura es la estabilización de las concentraciones atmosféricas de CO₂. Si se estudia más de un GEI, una alternativa útil es formular un objetivo de concentración de GEI en términos de concentración de CO₂ equivalente o forzamiento radiativo, midiendo así las concentraciones de los diferentes gases por sus propiedades radiativas. Otra opción es estabilizar o fijar un objetivo para la temperatura media mundial. La ventaja de los objetivos de forzamiento radiativo sobre los objetivos de temperatura es que el cálculo del forzamiento radiativo no depende de la sensibilidad climática. La desventaja es que una amplia gama de impactos de temperatura es posible

para cada nivel de forzamiento radiativo. Por otra parte, los objetivos de temperatura tienen la ventaja importante de estar más estrechamente relacionados con los impactos del cambio climático. Otro enfoque es calcular los riesgos o probabilidades de exceder valores particulares de la temperatura media mundial anual desde la época preindustrial para objetivos específicos de estabilización o forzamiento radiativo.

Los estudios publicados muestran una correlación clara y fuerte entre las concentraciones de CO₂ equivalente (o forzamiento radiativo) y las concentraciones de sólo CO₂ para el año 2100, ya que el CO₂ es el contribuyente principal del forzamiento radiativo. Basados en esta relación y para facilitar un escenario de comparación y evaluación, se han agrupado los escenarios de estabilización (estudios de sólo CO₂ y gases múltiples) en diferentes categorías que varían en la severidad de sus objetivos (Tabla RT.2).

Esencialmente, cualquier concentración específica u objetivo de forzamiento radiativo necesita que las emisiones desciendan a niveles muy bajos a medida que se saturan los procesos de eliminación terrestres y oceánicos. Los objetivos de estabilización retrasan los plazos para este resultado final hasta después de 2100. Sin embargo, para alcanzar un objetivo de estabilización dado, se tienen que reducir las emisiones muy por debajo de los niveles actuales. Se necesitan emisiones negativas netas para obtener las categorías de estabilización I y II para finales de siglo en muchos escenarios considerados (Gráfico RT.8) (*acuerdo alto, pruebas abundantes*) [3.3.5].

El tiempo de reducción de emisiones depende de la severidad del objetivo de estabilización. Los objetivos más rígidos alcanzar un máximo más temprano de emisiones de CO₂ (véase

Tabla RT.2: Clasificación de escenarios de estabilización recientes (Post Tercer Informe de Evaluación) de acuerdo con los diferentes objetivos de estabilización y los parámetros de medición de la estabilización alternativos (Tabla 3.5).

Categoría	Forzamiento radiativo adicional (C/m ²)	Concentración de CO ₂ (ppm)	Concentración de CO ₂ eq (ppm)	Aumento de la temperatura media mundial por encima de los valores preindustriales en equilibrio, usando las «mejores estimaciones» de sensibilidad climática ^{a), b)} (°C)	Año pico de emisiones de CO ₂ ^{c)}	Cambio en las emisiones mundiales de CO ₂ en el año 2050 (% de las emisiones de 2000) ^{c)}	Nº de escenarios evaluados
I	2.5–3.0	350–400	445–490	2.0–2.4	2000–2015	–85 a –50	6
II	3.0–3.5	400–440	490–535	2.4–2.8	2000–2020	–60 a –30	18
III	3.5–4.0	440–485	535–590	2.8–3.2	2010–2030	–30 a +5	21
IV	4.0–5.0	485–570	590–710	3.2–4.0	2020–2060	+10 a +60	118
V	5.0–6.0	570–660	710–855	4.0–4.9	2050–2080	+25 a +85	9
VI	6.0–7.5	660–790	855–1130	4.9–6.1	2060–2090	+90 a +140	5
Total							177

Notas:

- ^{a)} Véase que la temperatura media mundial en equilibrio difiere de las temperaturas medias previstas para el año 2100 debido a la inercia del sistema climático.
- ^{b)} Se utiliza la relación sencilla $T_{eq} = T_{2 \times CO_2} \times \ln([CO_2]/278)/\ln(2)$ y $\Delta Q = 5.35 \times \ln([CO_2]/278)$. La no linealidad en los retroefectos (incluidas, por ejemplo, la cubierta de hielo y el ciclo de carbono) puede causar dependencia temporal de la sensibilidad climática eficaz, así como provocar incertidumbres mayores para mayores niveles de calentamiento. La sensibilidad climática mejor estimada (3°C) se refiere al valor más probable, es decir, el modo de sensibilidad climática PDF consecuente con la evaluación del WGI de la sensibilidad climática y obtenido a partir de la consideración adicional del Cuadro 10.2, Gráfico 2, en el CIE WGI.
- ^{c)} Los intervalos corresponden desde el 15° al 85° percentil de la distribución de escenarios posteriores al Tercer Informe de Evaluación (TAR). Se muestran las emisiones de CO₂ de manera que los escenarios de gases múltiples se puedan comparar con los escenarios de sólo CO₂.

Véase que la clasificación se debe utilizar con cuidado. Cada categoría incluye un rango de estudios que van desde la parte alta hasta la parte baja. La clasificación de estudios se realizó sobre la base de objetivos presentados (por tanto, se incluyeron incertidumbres modeladas). Además, la relación utilizada para relacionar los diferentes parámetros de medición de la estabilización está sujeta también a incertidumbres (véase el Gráfico 3.16).

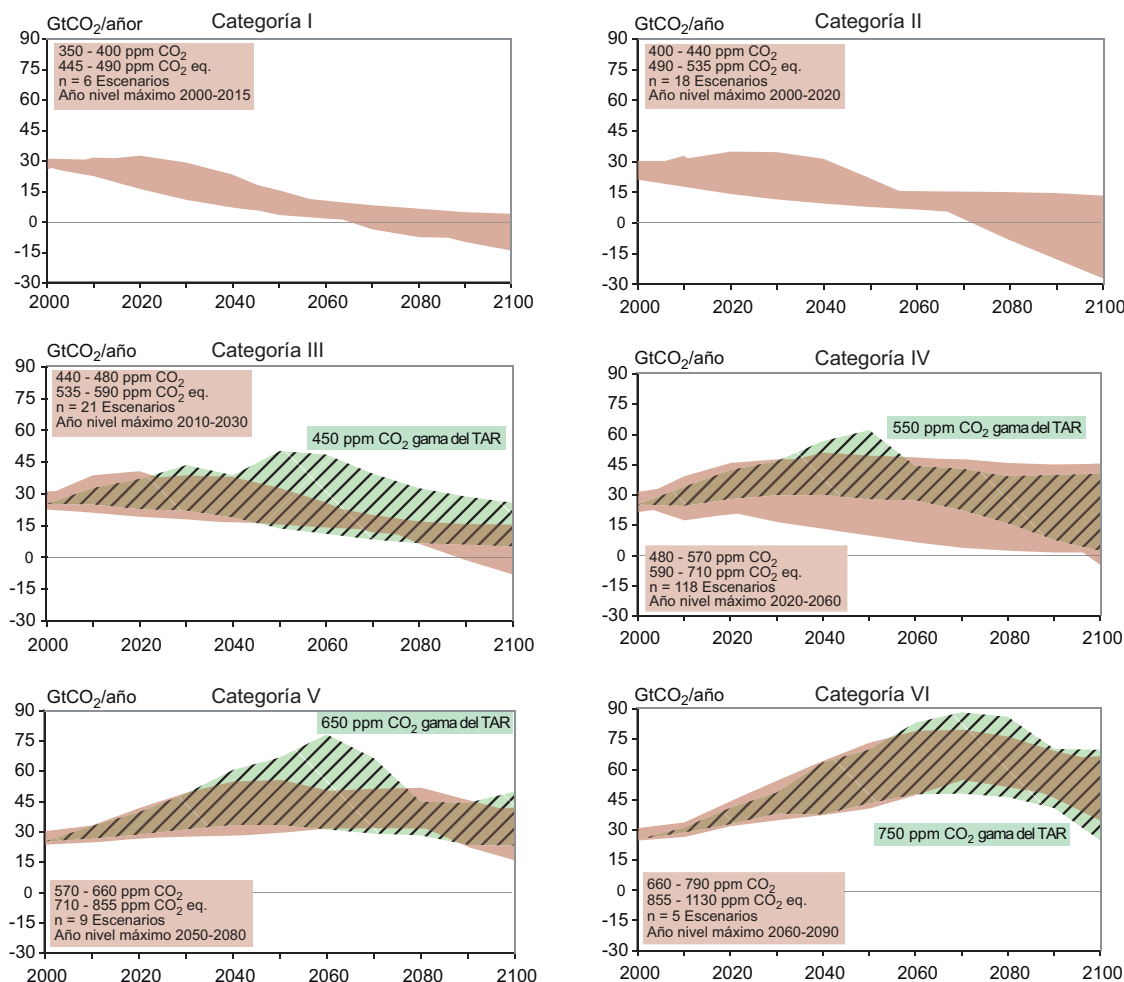


Gráfico RT.8: Vías de emisión de escenarios de mitigación para categorías alternativas de objetivos de estabilización (de la categoría I a la IV como se define en el cuadro en cada panel). Las zonas sombreadas en marrón claro muestran las emisiones de CO₂ para los escenarios recientes de mitigación desarrollados después del TAR. Las zonas sombreadas en verde muestran una gama de más de 80 escenarios de estabilización del TAR (Morita et al., 2001). Los escenarios de las categorías I y II exploran los objetivos de estabilización por debajo del nivel más bajo del TAR. Las emisiones en el año base pueden diferir entre modelos debido a diferencias de cobertura en sectores e industrias. Con el fin de alcanzar niveles de estabilización más bajos algunos escenarios implementan la eliminación del CO₂ de la atmósfera (emisiones negativas) mediante tecnologías como la producción de energía de biomasa por medio de la captura y almacenamiento de carbono [Gráfico 3.17].

el Gráfico RT.8). En la mayoría de los escenarios en la categoría más rígida de estabilización (I), se necesita que disminuyan las emisiones antes del año 2015 y que se reduzcan aún más a menos del 50% de las emisiones actuales para el año 2050. Para la categoría III, las emisiones mundiales en los escenarios generalmente alcanzan el máximo aproximadamente en 2010–2030, seguido por un retorno a los niveles de 2000 como promedio aproximadamente en 2040. Para la categoría IV, las emisiones medias alcanzan el máximo aproximadamente en el año 2040 (Gráfico RT.9) (*acuerdo alto, pruebas abundantes*).

Los costes de estabilización dependen del objetivo y nivel de estabilización, la línea de base y la carpeta de tecnologías consideradas, así como de la tasa de cambio tecnológico.

Los costes⁹ mundiales de mitigación aumentan con niveles de estabilización inferiores y con emisiones de línea de base superiores. Los costes en el año 2050 para la estabilización de gases múltiples a 650 ppm CO₂ eq. (cat. IV) se encuentran entre un 2% de pérdida y un 1% de aumento¹⁰ del PIB en el año 2050.

Para niveles del orden de 550 ppm CO₂-eq (cat III) estos costes varían entre un pequeño aumento y una pérdida del 4% del PIB¹¹. Para niveles de estabilización entre 445 y 535 ppm CO₂-eq los costes son inferiores a un 5,5% de pérdida del PIB, pero los estudios son escasos y generalmente utilizan líneas de base bajas.

Un enfoque de gases múltiples y la inclusión de sumideros de carbono generalmente reduce los costes de manera considerable

9 Los estudios de las carpetas de mitigación y costes macroeconómicos evaluados en este informe se basan en un enfoque mundial de coste menor, con carpetas de mitigación óptima y sin distribución de permisos de emisión por regiones. Si se excluyen las regiones o no se escogen carpetas óptimas, ascenderían los costes mundiales. La variación en las carpetas de mitigación y sus costes para un nivel de estabilización dado se origina debido a diferentes suposiciones, como sobre las líneas de base (líneas de base más bajas proporcionan costes más bajos), GEI y opciones de mitigación consideradas (mayor cantidad de gases y opciones de mitigación proporcionan costes menores), curvas de costes para opciones de mitigación y tasa de cambio tecnológico.

10 Se muestran la mediana y el intervalo entre el percentil 10° y el 90° de los datos analizados.

11 Las pérdidas del 4% del PIB en el año 2050 son equivalentes a una reducción de la tasa de crecimiento anual del PIB de aproximadamente 0,1%.

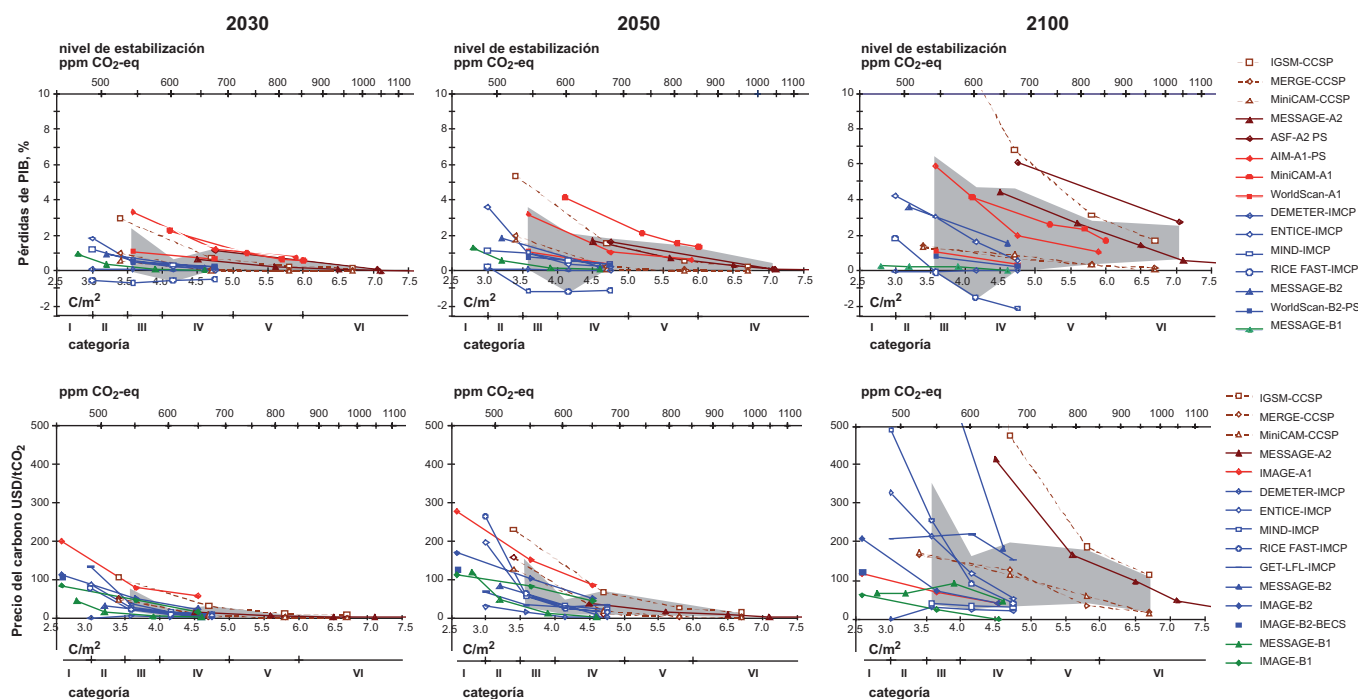


Gráfico RT.9: Relación entre el coste de la mitigación y los objetivos de estabilización a largo plazo (forzamiento radiativo comparado el nivel preindustrial, C/m^2 y concentraciones de CO_2 -eq) [Gráfico 3.25].

Notas: Los paneles muestran los costes medidos como porcentaje de pérdida del PIB (superior) y el precio del carbono (inferior). Los paneles de la izquierda corresponden al año 2030, los del centro al 2050 y los de la derecha al 2100. Las líneas individuales de colores denotan estudios seleccionados con dinámicas de costes representativas desde estimaciones de costes muy altas hasta muy bajas. Los escenarios de modelos que comparten suposiciones de línea de base similares se muestran con el mismo color. La zona sombreada en gris representa el 80º percentil de escenarios TAR y posteriores al TAR. Las líneas continuas muestran escenarios representativos que consideran todos los gases radiativos activos. Las líneas discontinuas muestran escenarios de gases múltiples donde los seis gases del Protocolo de Kyoto definen el objetivo (otros escenarios de gases múltiples consideran todos los gases radiativos activos). Se añaden los escenarios de estabilización de CO_2 a partir de la relación entre la concentración de CO_2 y los objetivos de forzamiento radiativo mostrados en el Gráfico 3.16.

si se compara sólo con la disminución de las emisiones de CO_2 . Los costes medios mundiales de la estabilización son inciertos porque las suposiciones sobre líneas de base y opciones de mitigación en los modelos varían mucho y tienen un impacto mayor. Para algunos países, sectores o cortos períodos de tiempo, los costes pueden variar considerablemente del promedio mundial a largo plazo (*acuerdo alto, pruebas abundantes*) [3.3.5].

Estudios recientes de estabilización han mostrado que las opciones de mitigación relativas a los usos del territorio (con CO_2 y exentas de CO_2) suministran una flexibilidad en la disminución eficaz desde el punto de vista de los costes para alcanzar los objetivos de estabilización en el año 2100. En algunos escenarios, el aumento de la energía de biomasa comercial (combustible sólido y líquido) es importante para la estabilización. Este aumento proporciona del 5 al 30% de disminución acumulada y potencialmente del 10 al 15% del total de la energía primaria durante el siglo, principalmente, como una estrategia de emisiones negativas netas que combina la energía de biomasa con la captura y almacenamiento de CO_2 .

Resulta muy importante la elección de línea de base con el fin de determinar la naturaleza y coste de la estabilización. Esta influencia se debe principalmente a suposiciones diferentes sobre el cambio tecnológico en los escenarios de línea de base.

La función de las tecnologías

Teóricamente, todos los escenarios asumen que los cambios tecnológicos y estructurales suceden en este siglo. Esto conlleva a una disminución relativa de las emisiones comparada con el caso hipotético de intentar «mantener» al nivel actual la intensidad de emisiones del PIB y las estructuras económicas (véase el Capítulo 2, Sección 2.9.1.3).

Los escenarios de línea de base generalmente asumen un cambio tecnológico considerable y la difusión de tecnologías nuevas y avanzadas. En los escenarios de mitigación existe un cambio tecnológico adicional «inducido» por varias políticas y medidas. Los escenarios de estabilización a largo plazo destacan la importancia de las mejoras tecnológicas, las tecnologías avanzadas, el aprendizaje experimental y el cambio tecnológico endógeno con el fin de lograr los objetivos de estabilización y la reducción de los costes. Mientras que la mayor parte de la literatura trata la introducción de mejoras tecnológicas y el uso de tecnologías avanzadas en los escenarios de manera principalmente exógena, la nueva literatura cubre el aprendizaje experimental y el cambio tecnológico endógeno. Estos escenarios más recientes muestran beneficios superiores de acciones anteriores, ya que los modelos asumen que el desarrollo temprano de tecnologías conduce a beneficios de aprendizaje y reducción de costes (*acuerdo alto, pruebas abundantes*) [3.4].

Las diferentes categorías de escenarios también reflejan diferentes contribuciones de las medidas de mitigación. Sin embargo, todos los escenarios de estabilización coinciden en que el 60-80% de todas las reducciones vendría de los sectores energético e industrial. Los gases exentos de CO₂ y los usos del territorio representan el 30-40% restante (véanse los ejemplos ilustrativos en el Gráfico RT.10). Nuevos estudios sobre niveles de estabilización más rígidos indican que se necesita una carpeta de tecnologías más amplia. Estas podría incluir energía nuclear, captura y almacenamiento de carbono (CAC) y bionería con captura de carbono y almacenamiento geológico (BECA) (*acuerdo alto, pruebas abundantes*) [3.3.5].

Mitigación y adaptación a la luz de los impactos del cambio climático y toma de decisiones bajo incertidumbres

La preocupación sobre las vulnerabilidades claves y nociones de lo que es el cambio climático peligroso afectarán a las decisiones sobre los objetivos de cambio climático a largo plazo y, por tanto, sobre las vías de mitigación. Las vulnerabilidades claves atraviesan diferentes sistemas naturales y humanos y existen en diferentes niveles de cambio de temperatura. Los escenarios de estabilización más rígidos logran objetivos climáticos más rígidos y disminuyen el riesgo de activar las vulnerabilidades claves relativas al cambio climático. Si se

utiliza la «mejor estimación» de la sensibilidad climática¹², los escenarios más rígidos (estabilización a 445-490 ppm CO₂-eq) pueden limitar el aumento de la temperatura media mundial en 2-2,4°C por encima de los valores preindustriales, en equilibrio, y con la necesidad de que las emisiones alcancen el máximo dentro de 15 años y se sitúen aproximadamente al 50% de los niveles actuales para el año 2050. Los escenarios que se estabilizan a 535-590 ppm CO₂-eq pueden limitar el aumento en 2,8-3,2°C por encima de los valores preindustriales y aquellos a 590-710 ppm CO₂-eq en 3,2-4°C, con la necesidad de que las emisiones alcancen el máximo en los próximos 25 y 55 años, respectivamente (véase el Gráfico RT.11) [3.3, 3.5].

El riesgo de mayor sensibilidad climática aumenta la probabilidad de superar cualquier umbral de vulnerabilidades claves específicas. Los escenarios de emisiones que conducen a rebasar temporalmente los límites de concentraciones pueden conducir a tasas más altas de cambio climático durante el siglo y aumentar la probabilidad de superar los umbrales de vulnerabilidades claves. Los resultados de estudios que evalúan el efecto del ciclo de carbono y la retroefectos climáticos indican que se subestiman los niveles de concentraciones antes mencionados y el calentamiento asociado de un escenario de emisiones específico. A medida que aumenta la sensibilidad climática, aumenta la necesidad de medidas de mitigación más rígidas y tempranas para alcanzar el mismo nivel de concentración.

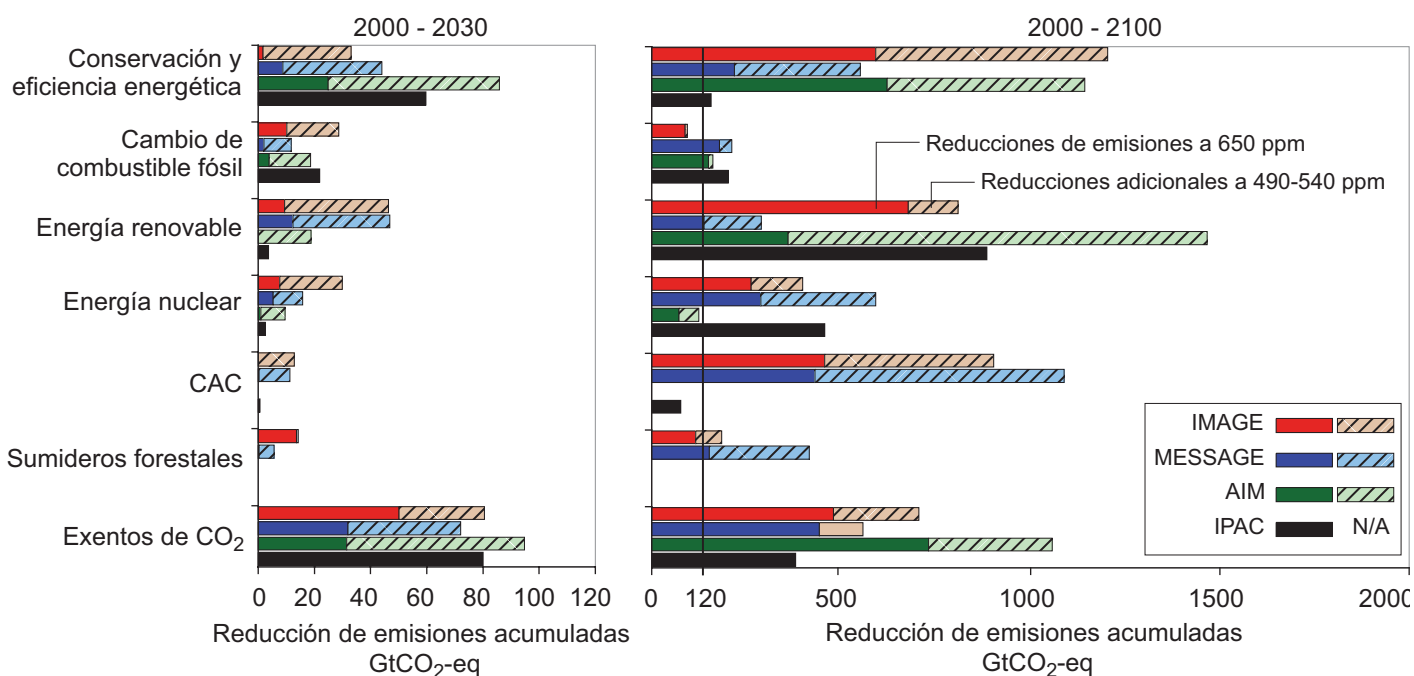


Gráfico RT.10: Reducciones de emisiones acumuladas para medidas de mitigación alternativas para 2000-2030 (panel izquierdo) y para 2000-2100 (panel derecho). El gráfico muestra escenarios ilustrativos de cuatro modelos (AIM, IMAGE, IPAC y MESSAGE) para alcanzar niveles de estabilización bajos (490-540 ppm CO₂-eq) e intermedios (650 ppm CO₂-eq). Las barras oscuras muestran reducciones para un objetivo de 650 ppm CO₂-eq y las barras claras las reducciones adicionales para alcanzar 490-540 ppm CO₂-eq. Nótase que algunos modelos no tienen en cuenta la mitigación mediante la mejora de los sumideros forestales (AIM y IPAC) o CAC (AIM) y que la porción de opciones energéticas de bajo contenido de carbono en el abastecimiento total de energía se determina también por la inclusión de estas opciones en la línea de base. La CAC incluye la captura y almacenamiento de carbono de biomasa. Los sumideros forestales incluyen la disminución de las emisiones de la deforestación [Gráfico 3.23].

¹² La sensibilidad climática en equilibrio es una medida de la respuesta del sistema climático al forzamiento radiativo sostenido. No constituye una proyección pero se define como el calentamiento medio mundial de la superficie después de duplicarse las concentraciones de dióxido de carbono [CIE WGI RRP].

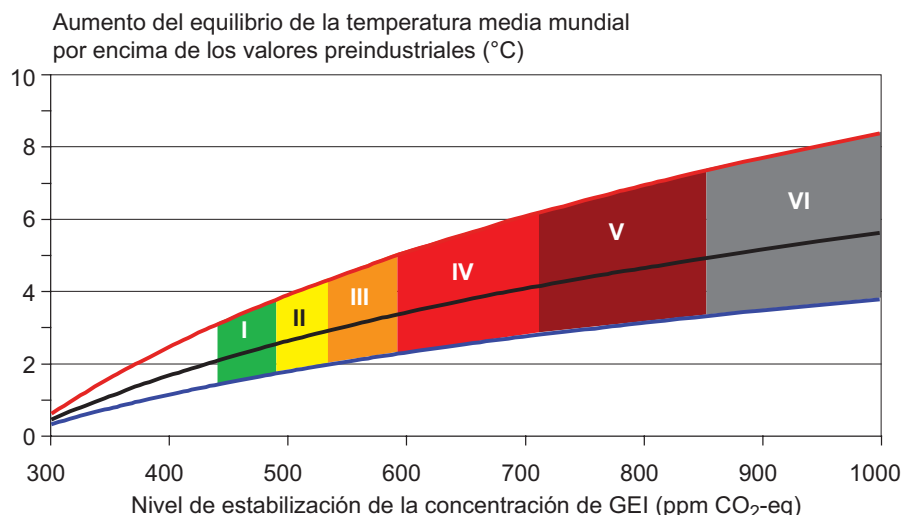


Gráfico RT.11: Categorías de escenarios de estabilización según se indica en el Gráfico RT.8 (bandas de colores) y su relación con el cambio de la temperatura media mundial en equilibrio por encima de los valores preindustriales de temperatura [Gráfico 3.38].

Notas: Línea negra central: «mejor estimación» de la sensibilidad climática de 3°C; línea superior roja: parte baja del intervalo probable de sensibilidad climática de 4,5°C; línea inferior azul: parte baja del intervalo probable de sensibilidad climática de 2°C. El sombreado de colores muestra las bandas de concentración para la estabilización de GEI en la atmósfera que se corresponden con las categorías de la I a la IV de escenarios de estabilización, según se indica en la Tabla RT.2.

La toma de decisiones sobre el nivel de mitigación adecuado es un proceso iterativo de gestión de riesgos que considera la inversión en la mitigación y adaptación, los beneficios conjuntos al decidir sobre el cambio climático y los daños debidos al cambio climático. Se entrelaza con decisiones sobre sostenibilidad, equidad y vías de desarrollo. El análisis de rentabilidad, como una de las herramientas disponibles, trata de cuantificar el daño del cambio climático en términos monetarios [como el coste social del carbono (CSC) o daños descontados en el tiempo]. Aún resulta difícil estimar el CSC con confianza debido a las grandes incertidumbres y dificultades para calcular el daño que no pertenece al sector del mercado. Los resultados dependen de un gran número de suposiciones normativas y empíricas que no se conocen con certeza. Los resultados analíticos primarios y limitados de análisis integrados de los costes y beneficios de la mitigación indican que estos se pueden comparar en magnitud, pero no permiten todavía una determinación inequívoca de una vía de emisión o nivel de estabilización donde los beneficios superen a los costes. La evaluación integrada de los costes y beneficios económicos de diferentes vías de mitigación muestra que los plazos y el nivel económicamente óptimos de la mitigación dependen del carácter y forma inciertos de la curva de costes de los daños del cambio climático asumidos. Para ilustrar esta dependencia:

- si la curva de costes del daño del cambio climático crece lenta y regularmente, y existe un buen pronóstico (que aumenta el potencial de adaptación a tiempo), se justifica económicamente una mitigación tardía y menos rígida;
- alternativamente, si la curva de costes del daño crece con mucha pendiente o presenta zonas no lineales (por ejemplo, umbrales de vulnerabilidad o incluso probabilidades pequeñas de episodios catastróficos), se justifica económicamente una mitigación temprana y más rígida (*acuerdo alto, pruebas abundantes*) [3.6.1].

Vínculos entre el corto plazo y el largo plazo

Para cualquier objetivo seleccionado de estabilización de GEI, se pueden tomar decisiones a corto plazo en cuanto a las oportunidades de mitigación para ayudar a mantener una trayectoria de emisiones consecuente dentro de una gama de objetivos de estabilización a largo plazo. El modelado económico de objetivos de estabilización mundial a largo plazo puede brindar información sobre opciones de mitigación a corto plazo. Una recopilación de resultados de modelos a corto y largo plazo que utilizan escenarios con objetivos de estabilización que oscilan entre 3 y 5 C/m² (categoría II y III), indica que, para precios de carbono menores de 20 USD/tCO₂-eq, se prevé una disminución de las emisiones de entre 9 y 18 GtCO₂-eq/año en todos los GEI para el año 2030. Para precios de carbono menores de 50 USD/tCO₂-eq este intervalo es de 14–23 GtCO₂-eq/año y para precios de carbono menores de 100 USD/tCO₂-eq es de 17–26 GtCO₂-eq/año (*acuerdo alto, pruebas abundantes*).

Es necesario tener presentes tres consideraciones importantes relacionadas con los costes marginales evaluados. En primer lugar, estos escenarios de mitigación asumen una flexibilidad completa de «qué» y «dónde», es decir, existe una sustitución completa entre los GEI y las reducciones tienen lugar en cualquier parte del mundo tan pronto como los modelos comienzan sus análisis. En segundo lugar, los costes marginales que supone llevar a la práctica estos niveles de mitigación aumentan después del año 2030. En tercer lugar, en lo que respecta al sector económico, el potencial de reducción de emisiones para todos los GEI varía considerablemente en los diferentes escenarios modelo (*acuerdo alto, pruebas abundantes*) [3.6.2].

Un enfoque de gestión o «cobertura» de riesgos puede ayudar a los responsables de políticas en el avance de las decisiones de mitigación en ausencia de un objetivo a largo plazo y ante la aparición de grandes incertidumbres relacionadas con el coste de la mitigación, la eficacia de la adaptación y los impactos negativos del cambio climático. La extensión y duración de la estrategia de cobertura deseada dependerá de los intereses, probabilidades y actitudes de las sociedades hacia los riesgos, por ejemplo, relacionados con los riesgos del cambio abrupto en los sistemas geofísicos y otras vulnerabilidades claves. Existe una variedad de enfoques integrados de evaluación para evaluar los beneficios de la mitigación en el contexto de las decisiones de políticas relativas a tales metas climáticas a largo plazo. Existirá una gran oportunidad para aprender e introducir correcciones en curso a medida que se dispone de información nueva. Sin embargo, las acciones a corto plazo determinarán en gran medida las temperaturas medias mundiales a largo plazo y, por tanto, qué impactos del cambio climático se pueden evitar. El retraso en la reducción de emisiones conduce a inversiones que estancan en infraestructuras y vías de desarrollo con mayor intensidad de emisiones. Esto impide considerablemente la oportunidad de lograr niveles de estabilización más bajos y aumenta el riesgo de impactos del cambio climático más severos. Por tanto, los análisis de las decisiones a corto plazo no se deben separar de los análisis que considera los resultados del cambio climático a largo plazo (*acuerdo alto, pruebas abundantes*) [3.6; 3.5.2].

4. Sector de suministro energético

Estado del sector y desarrollo hasta el año 2030

La demanda mundial de energía continúa creciendo, pero con diferencias regionales. El crecimiento medio anual del consumo mundial de energía primaria fue del orden de 1,4% anual durante el período 1990–2004. Esta cifra es menor que la de los dos decenios anteriores debido a la transición económica en Europa Oriental, el Cáucaso y Asia Central, pero el consumo energético actual vuelve a aumentar en esa región (Gráfico RT.12) (*acuerdo alto, pruebas abundantes*) [4.2.1].

En muchos países en desarrollo tiene lugar un rápido crecimiento del consumo energético per cápita. África es la región de más bajo consumo per cápita. El aumento de los precios del petróleo y gas comprometen el acceso a la energía, la equidad y el desarrollo sostenible de los países más pobres e interfiere con los objetivos de reducción de la pobreza que, a su vez, implican mejoras en el acceso a la electricidad, combustibles modernos para cocción y calefacción y transporte. (*acuerdo alto, pruebas abundantes*) [4.2.4].

Aumentó de manera sostenida el consumo total de combustibles fósiles en los tres últimos decenios. Continúa creciendo el consumo energético nuclear, aunque a un ritmo menor que en el decenio de 1980. Se mantiene relativamente estático el consumo de grandes cantidades de energía hidroeléctrica y geotérmica. En el período de 1970–2004, la porción de combustibles fósiles disminuyó de un 86% a un

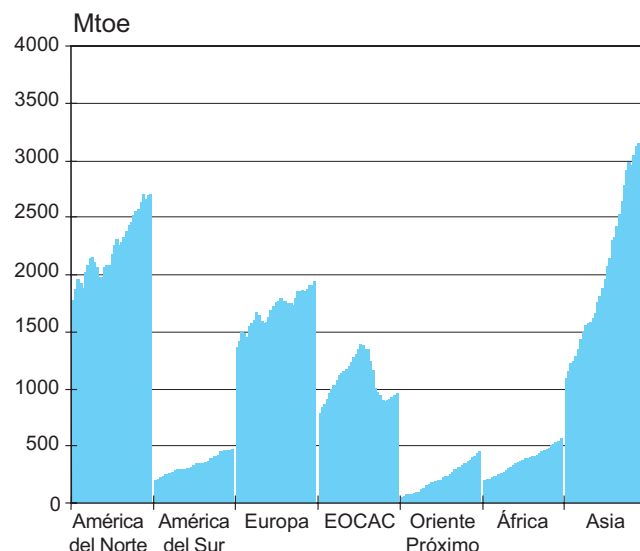


Gráfico RT.12: Consumo anual de energía primaria, incluida la biomasa tradicional, 1971–2003 [Gráfico 4.2].

Nota: EOCAC = países de Europa Oriental, el Cáucaso y Asia Central. 1000 Mtoe = 42 EJ.

81%. El consumo energético solar y eólico crece con rapidez, pero sobre una base muy baja (Gráfico RT.13) (*acuerdo alto, pruebas abundantes*) [4.2].

La mayoría de los escenarios de continuidad (business-as-usual, BAU) indican un crecimiento continuo de la población mundial (aunque a niveles más bajos que los previstos hace decenios) y del PIB, lo que aumentaría considerablemente la demanda energética. Se prevé que las altas tasas de crecimiento en la demanda energética de Asia (3,2% por año 1990–2004) se mantengan y se satisfagan por medio de los combustibles fósiles (*acuerdo alto, pruebas abundantes*) [4.2].

La escasez absoluta de combustibles fósiles a escala mundial no es un factor importante al considerar la mitigación del cambio climático. La producción de petróleo convencional alcanzará un pico con el tiempo, pero no se sabe con exactitud cuándo y qué repercusión tendrá. El gas natural convencional contiene más energía que el petróleo convencional pero, al igual que el petróleo, el gas no está distribuido uniformemente por todo el planeta. En el futuro, la falta de seguridad en los suministros de petróleo y gas en los países consumidores puede producir un cambio hacia el carbón, la energía nuclear y/o energía renovable. Existe, además, una tendencia hacia portadores de energía más eficaces y convenientes (electricidad y combustibles líquidos y gaseosos) en vez de sólidos (*acuerdo alto, pruebas abundantes*). [4.3.1]

En todas las regiones del mundo, aumentó el énfasis en la seguridad del suministro a partir del Tercer Informe de Evaluación (TAR). Esto se une a la reducción de inversiones en infraestructura, el aumento de la demanda mundial, la inestabilidad política en zonas claves y las amenazas de conflictos, el terrorismo y episodios meteorológicos extremos. Nuevas inversiones en infraestructura energética en países en desarrollo y mejoras de capacidad en países desarrollados abren

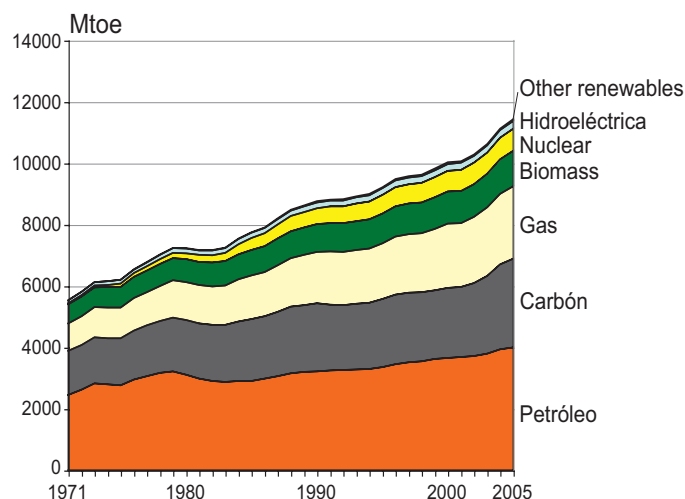


Gráfico RT.13: Consumo mundial de energía primaria por tipo de combustible [Gráfico 4.5].

una ventana de oportunidades para explotar los beneficios conjuntos de las opciones en la combinación energética a fin de reducir las emisiones de GEI desde los niveles en los que, de otra manera, se encontrarían (*acuerdo alto, pruebas abundantes*) [4.2.4; 4.1].

El problema para muchos gobiernos radica en la mejor manera de satisfacer la siempre creciente demanda de servicios energéticos fiables a la vez que reducen los costes económicos para sus electores, asegurando la seguridad energética, reduciendo la dependencia de importaciones de fuentes de energía y minimizando las emisiones de los GEI asociados y otros contaminantes. La selección de los sistemas de suministro energético para cada región del planeta dependerá de su desarrollo, infraestructura existente y costes comparativos locales de los recursos energéticos disponibles (*acuerdo alto, pruebas abundantes*) [4.1].

Si los precios de los combustibles fósiles se mantienen altos, la demanda puede disminuir temporalmente hasta que otras reservas de hidrocarburos en forma de arena petrolífera, pizarra bituminosa, carbón licuado, gas natural o de petróleo licuado, etc. sean viables comercialmente. Si esto ocurre, aumentarán aún más las emisiones a medida que aumenta la intensidad de carbono, a no ser que se aplique la captura y almacenamiento del dióxido de carbono (CAC). A raíz del aumento de las preocupaciones sobre la seguridad energética y el aumento reciente de los precios del gas, existe un creciente interés por plantas energéticas de carbón nuevas y más eficientes. Una cuestión importante para las futuras emisiones de GEI es cuán rápido se equiparán las plantas nuevas de carbón con la tecnología CAC, lo cual elevará los costes de la electricidad. Si resulta más eficiente, desde el punto de vista de los costes, construir plantas «listas para la captura» que remodelar plantas o construir una planta nueva con la integración de CAC depende de las suposiciones económicas y técnicas. Si continúan los precios altos de los combustibles fósiles, se puede activar el aumento en el uso de energía nuclear y/o renovable, aunque la fugacidad de los precios será un freno para los inversores.

Las inquietudes sobre la seguridad, la proliferación de armas y los desechos siguen siendo trabas para la energía nuclear. El hidrógeno podría contribuir también como un portador de energía con bajas emisiones de carbono, en dependencia de la fuente de hidrógeno y la absorción exitosa de CAC para la producción de hidrógeno a partir de carbón o gas. La energía renovable se puede usar bien de manera repartida o bien necesitará estar concentrada para satisfacer las intensas demandas energéticas de ciudades e industrias, porque, al contrario de las fuentes de combustibles fósiles, las fuentes de energía renovable están ampliamente distribuidas con bajos retornos de energía por área de explotación (*acuerdo mediano, pruebas medianas*) [4.3].

Si continúa el aumento de la demanda energética según la trayectoria actual, una infraestructura y sistema de conversión perfeccionados necesitarán, para el año 2030, una inversión acumulativa de más de USD₂₀₀₅ 20 billones (20 X 10¹²). A modo de comparación, el total de la inversión de capital de la industria energética mundial asciende en la actualidad a 300 millones de USD por año (300 X 10⁹) (*acuerdo mediano, pruebas medianas*) [4.1].

Tendencias de emisiones mundiales y regionales

A excepción de los países de Europa Oriental, el Cáucaso y Asia Central (donde las emisiones disminuyeron después de 1990, pero en la actualidad vuelven a aumentar) y Europa (estable en la actualidad), las emisiones de carbono siguen aumentando. Las emisiones procedentes de prácticas habituales aumentarán significativamente hasta el año 2030. Si no se aplican políticas de acción eficaces, se prevé el aumento de las emisiones mundiales de CO₂ de la quema de combustibles fósiles como mínimo más del 40%, desde aproximadamente 25 GtCO₂-eq/año (6,6 GtC-eq) en 2000 a 37–53 GtCO₂-eq/año (10–14 GtC-eq) para el año 2030 [4.2.3].

En el año 2004, las emisiones de la generación de electricidad y suministro de calefacción solas ascendieron a 12,7 GtCO₂-eq/año (26% del total de emisiones), incluidas 2,2 GtCO₂-eq/año del CH₄. Para el año 2030, según la línea de base del World Energy Outlook 2006, estas aumentarán a 17,7 GtCO₂-eq/año (*acuerdo alto, pruebas abundantes*) [4.2.2].

Descripción y evaluación de las prácticas y tecnologías, opciones, potenciales y costes de mitigación en el sector de generación de electricidad

El sector de la electricidad tiene un potencial de mitigación importante ya que utiliza una amplia gama de tecnologías (Tabla RT.3). El potencial económico de la mitigación para cada tecnología por separado se basa en lo que podría ser una expectativa real de implementación de las diferentes tecnologías si se invierten todos los esfuerzos, pero con las restricciones prácticas en la tasa de absorción, aceptación pública, construcción de capacidades y comercialización. No se incluyen la competencia entre las opciones y la influencia de las mejoras en la conservación y eficiencia de la energía final [4.4].

Tabla RT.3: Potencial de emisiones evitadas de GEI en el año 2030 para una selección de tecnologías de mitigación en la generación de electricidad [por encima de la línea de base de referencia del World Energy Outlook de la OIE (2004)] utilizadas de forma aislada con las porciones estimadas de potencial de mitigación extendidas a lo largo de cada intervalo de costes (2006 USD/tCO₂-eq) [Tabla 4.19].

	Agrupaciones regionales	Potencial de Mitigación: Total de emisiones evitadas en el año 2030 (GtCO ₂ -eq)	Potencial de mitigación (%) para intervalos específicos de precios del carbono (USD/tCO ₂ -eq evitado)				
			<0	0–20	20–50	50–100	>100
Cambio de combustible y eficiencia de plantas	OCDE ^a	0.39		100			
	EIT ^b	0.04		100			
	Mundo fuera de la OCDE	0.64		100			
Nuclear	OCDE	0.93	50	50			
	EIT	0.23	50	50			
	Mundo fuera de la OCDE	0.72	50	50			
Hidroeléctrica	OCDE	0.39	85	15			
	EIT	0.00					
	Mundo fuera de la OCDE	0.48	25	35	40		
Eólica	OCDE	0.45	35	40	25		
	EIT	0.06	35	45	20		
	Mundo fuera de la OCDE	0.42	35	50	15		
Bioenergía	OCDE	0.20	20	25	40	15	
	EIT	0.07	20	25	40	15	
	Mundo fuera de la OCDE	0.95	20	30	45	5	
Geotérmica	OCDE	0.09	35	40	25		
	EIT	0.03	35	45	20		
	Mundo fuera de la OCDE	0.31	35	50	15		
Energía solar FV y concentrada	OCDE	0.03				20	80
	EIT	0.01				20	80
	Mundo fuera de la OCDE	0.21				25	75
CAC + carbón	OCDE	0.28			100		
	EIT	0.01			100		
	Mundo fuera de la OCDE	0.20			100		
CAC + gas	OCDE	0.09				100	
	EIT	0.04			30	70	
	Mundo fuera de la OCDE	0.19				100	
		0.32					

Notas:

a) Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos.

b) Economías en Transición (por sus siglas en inglés, EIT).

Se dispone de una amplia gama de opciones de mitigación del suministro energético y rentabilidad con precios del carbono de <USD20/tCO₂, incluidas mejoras en el cambio de combustible y en la eficiencia de las plantas energéticas. La CAC será rentable con el aumento de los precios del carbono. Otras opciones todavía en desarrollo incluyen energía nuclear avanzada, energía renovable avanzada, biocombustibles de segunda generación y, a largo plazo, la probabilidad de utilizar el hidrógeno como portador de energía (*acuerdo alto, pruebas abundantes*) [4.3, 4.4].

La Tabla RT.3 muestra estimaciones de los potenciales de mitigación de opciones individuales sin considerar la mezcla real del suministro, por lo que no pueden agregarse. Por tanto, se realizó un análisis adicional de la mezcla del suministro para

evitar el doble cómputo. Para este análisis, se asumió que la capacidad de generación de las termoeléctricas se sustituiría gradualmente y se construirían nuevas plantas generadoras para satisfacer la demanda, bajo las siguientes condiciones:

- 1) Se asumió sustituir el carbón por el gas en el 20% de las plantas de carbón, pues esta es la opción menos costosa
- 2) Se dividió el reemplazo de las plantas existentes de combustibles fósiles y la construcción de nuevas plantas hasta el año 2030 para satisfacer la creciente demanda energética entre plantas eficientes de combustibles fósiles, energías renovables, energía nuclear y plantas de carbón y gas con CAC. No se asumió la retirada temprana de plantas o activos varados.
- 3) Se emplearon tecnologías con bajo contenido o exentas de carbono de forma proporcional a sus contribuciones máximas

Tabla RT.4: Aumento de la demanda energética proyectado de 2010 a 2030 satisfecha por plantas adicionales y de reemplazo, nuevas y más eficientes, y el potencial de mitigación resultante por encima de la línea de base del World Energy Outlook 2004 [Tabla 4.20].

	Eficacia de las plantas energéticas en el año 2030 (basado en el OIE 2004a) ^a (%)	Mezcla existente de generación energética en el año 2010 (TWh)	Generación de plantas nuevas adicionales en el año 2030 (TWh)	Generación de plantas nuevas en el año 2030 que reemplazan a las plantas antiguas existentes en el 2010 (TWh)	Fracción de la mezcla de generación del total de las plantas nuevas y reemplazadas en el año 2030, incluidas CAC a varios precios del carbono (USD/tCO ₂ -eq) ^b			Total de GtCO ₂ -eq evitado mediante el cambio de combustible, CAC y sustitución de parte de la generación a partir de combustibles fósiles por opciones con bajo contenido de carbono como la energía eólica, solar, geotérmica, hidroeléctrica, nuclear y de biomasa		
					<20 USD/TWh	<50 USD/TWh	<100 USD/TWh	<20 USD/t	<50 USD/t	<100 USD/t
OCDE		11,302	2942	4521	7463			1.58	2.58	2.66
Carbón	41	4079	657	1632	899	121	0			
Petróleo	40	472	-163C	189	13	2	0			
Gas	48	2374	1771	950	1793	637	458			
Nuclear	33	2462	-325	985	2084	2084	1777			
Hidroeléctrica	100	1402	127	561	1295	1295	1111			
Biomasa	28	237	168	95	263	499	509			
Otras renovables	63	276	707	110	1116	1544	1526			
CAC					0	1282	2082			
Economías en transición (EIT)		1746	722	698	1420			0.32	0.42	0.49
Carbón	32	381	13	152	72	46	29			
Petróleo	29	69	-8	28	11	7	4			
Gas	39	652	672	261	537	357	240			
Nuclear	33	292	-20	117	442	442	442			
Hidroeléctrica	100	338	35	135	170	170	170			
Biomasa	48	4	7	2	47	109	121			
Otras renovables	36	10	23	4	142	167	191			
CAC					0	123	222			
Fuera de la OCDE/EET		7137	7807	2855	10.662			2,06	3044	4,08
Carbón	38	3232	3729	1293	2807	1697	1133			
Petróleo	38	646	166	258	297	179	120			
Gas	46	1401	2459	560	3114	2279	1856			
Nuclear	33	231	289	92	1356	1356	1356			
Hidroeléctrica	100	1472	874	589	1463	2106	2106			
Biomasa	19	85	126	34	621	1294	1443			
Otras renovables	28	70	164	28	1004	1154	1303			
CAC					0	598	1345			
Total		20.185	11.471	8074	19.545			3,95	6,44	7,22

Notas:

- a) Eficiencias implicadas calculadas por WEO 2004 (OIE, 2004b) = producción energética (J)/ producción energética estimada (E). véase el apéndice 1, Capítulo 11.
- b) A mayores precios del carbono, las opciones de bajo contenido de carbono o exentas de carbono sustituyen a la generación energética con carbón, petróleo y gas. La fracción correspondiente a la energía nuclear e hidroeléctrica se mantiene constante, ya que sus costes son competitivos, <USD20/tCO₂-eq en la mayoría de las regiones (Capítulo 4, Tabla 4.4.4).
- c) Los datos negativos reflejan una disminución de la generación incluida en el análisis.

estimadas a la generación de electricidad para el año 2030. Estas contribuciones se basan en la literatura, teniendo en cuenta la disponibilidad de recursos, costes relativos y variabilidad del suministro relacionado con la intermitencia de la red eléctrica, y se diferenciaron de acuerdo con los niveles de costes del carbono.

El potencial de mitigación económico resultante para el sector de suministro energético en el 2030 procedente de plantas

termoeléctricas mejoradas, sustitución de combustibles e implementación de más plantas de energía nuclear, energía renovable, sustitución de combustibles y CAC para satisfacer la creciente demanda es de aproximadamente 7,2 GtCO₂-eq con precios de carbono de < 100 USD/tCO₂-eq. El potencial de reducción tendrá un valor estimado de 3,9 GtCO₂-eq con costes del carbono <20 USD/tCO₂-eq (Tabla RT.4). A este nivel de precios del carbono, la porción atribuible a la energía renovable en la generación de electricidad aumentaría de un 20% en 2010

a, aproximadamente, un 30% en 2030. Con precios del carbono de < 50 USD/tCO₂-eq, la porción aumentaría al 35% del total de la generación de electricidad. La porción atribuible a la energía nuclear alcanzaría aproximadamente el 18% en 2030 con precios del carbono de <50 USD/tCO₂-eq y no cambiaría mucho con precios mayores, ya que otras tecnologías serían competitivas.

A fin de evaluar el potencial económico, se asumieron fracciones técnicas máximas para el empleo de tecnologías descarbonizadas o con bajo contenido de carbono y, por tanto, la estimación se ubica al final del amplio intervalo hallado en la literatura. Si, por ejemplo, solamente se logra el 70% de las fracciones asumidas, el potencial de mitigación con precios de carbono de <100 USD/tCO₂-eq se reduciría casi a la mitad. Los ahorros potenciales en la demanda de electricidad en sectores de uso final reducen la necesidad de medidas de mitigación en el sector energético. Cuando se tiene en cuenta el impacto de las medidas de mitigación en los sectores de la construcción e industrial sobre la demanda de electricidad (descrita en el Capítulo 11), el potencial de mitigación para el sector del suministro energético es menor que la cifra individual de este informe (*acuerdo mediano, pruebas limitadas*) [4.4].

Interacciones de las opciones de mitigación con la vulnerabilidad y adaptación

Muchos sistemas energéticos son en sí mismos vulnerables al cambio climático. Los sistemas de extracción de combustibles fósiles que se encuentran en el mar y los de petróleo y gas de las costas son vulnerables a los episodios meteorológicos extremos. El enfriamiento de las plantas generadoras tradicionales y nucleares se puede convertir en un problema si se calientan las aguas de los ríos. Las fuentes de energía renovable también se pueden ver perjudicadas por el cambio climático (como los cambios en la nubosidad influyen en los sistemas solares; los cambios en la descarga de los ríos, glaciares y derretimiento de la nieve influyen en la generación hidroeléctrica; el cambio en la velocidad del viento influye en la generación eólica; y las sequías y aumento de las temperaturas influyen en la cosecha de los cultivos energéticos). Algunas medidas de adaptación al cambio climático, como el aire acondicionado y las bombas de agua utilizan la energía y pueden contribuir a emisiones de CO₂ aún más altas y, por tanto, necesitan más mitigación (*acuerdo alto, pruebas limitadas*) [4.5.5].

Eficacia de las políticas climáticas y experiencia con las mismas, potenciales, barreras, oportunidades y problemas de implementación

Es evidente la necesidad de una acción inmediata a corto plazo que tenga un efecto considerable a largo plazo, al igual que la necesidad de aplicar el espectro completo de instrumentos políticos, ya que ningún instrumento por separado permitirá una transición a gran escala de los sistemas de suministro energético a escala mundial. Las tecnologías de conversión energética a gran escala tienen una vida de varios decenios y, por tanto, una producción de sólo 1–3% por año. Esto significa que las decisiones de políticas

tomadas en la actualidad afectarán a la tasa de uso de tecnologías que emiten carbono durante varios decenios. Esto tendrá serias consecuencias en las vías de desarrollo, específicamente en un mundo que se desarrolla con rapidez. [4.1].

Se emplean instrumentos económicos y reguladores. Los enfoques para estimular la aceptación de los sistemas de suministro energético con bajo contenido de carbono incluyen la reducción de las subvenciones a los combustibles fósiles y la estimulación de los precursores de tecnologías específicas mediante la participación activa de los gobiernos en la creación de mercados [como en Dinamarca para la energía eólica y en Japón para la energía solar fotovoltaica (FV)]. La reducción de las subvenciones a los combustibles fósiles ha sido difícil, ya que los intereses creados se oponen a ello. En términos de apoyo a los proyectos de energía renovable, las tarifas reguladas han sido más eficaces que los sistemas comerciales con certificados verdes basados en cuotas. Sin embargo, al aumentar las porciones correspondientes a la energía renovable en la mezcla de energía, el ajuste de tales tarifas se convierte en un problema. Se prevé que los sistemas de permisos de comercio y el uso de los mecanismos flexibles del protocolo de Kyoto contribuyan considerablemente a la reducción de las emisiones (*acuerdo mediano, pruebas medianas*) [4.5].

Políticas integradas y no climáticas y beneficios conjuntos de las políticas de mitigación

Los beneficios conjuntos de la mitigación de GEI en el sector de suministro energético pueden ser claves. Cuando se aplican medidas rentables de eficiencia energética, los consumidores sienten un beneficio económico inmediato debido a los menores costes energéticos. También tienen lugar a escala local beneficios conjuntos en la seguridad del suministro energético, la innovación tecnológica, la disminución de la contaminación del aire y el empleo. Esto se cumple especialmente para las energías renovables, que pueden disminuir la dependencia de las importaciones y, en muchos casos, minimizar las pérdidas y costes de transmisión. Los precios de la electricidad, el combustible del transporte y la calefacción que suministra la energía renovable tienen menos tendencia a fluctuar, pero en muchos casos son mayores. Las tecnologías de energías renovables generarán más empleo, ya que estas tecnologías requieren una mayor intensidad de mano de obra que las tecnologías tradicionales por unidad de energía producida. Sin embargo, los altos costes de inversión de las infraestructuras de los nuevos sistemas de energía pueden ser un impedimento importante para su implementación.

Los países en desarrollo que continúan experimentando un alto crecimiento económico necesitarán un aumento significativo de los servicios energéticos que en la actualidad satisfacen los combustibles fósiles. Un mayor acceso a los servicios energéticos modernos puede presentar múltiples beneficios. Su uso puede ayudar a mejorar la calidad del aire, especialmente en zonas urbanas, y conducir a un descenso de las emisiones de GEI. Se necesitará construir una estimación de 2400 GW de nuevas plantas energéticas

más la infraestructura asociada en los países en desarrollo para el año 2030 para satisfacer la creciente demanda de los consumidores, lo que requerirá una inversión de aproximadamente 5 billones de USD (5×10^{12}). Bien dirigidas, estas inversiones grandes proporcionan oportunidades para el desarrollo sostenible. La integración de políticas de desarrollo con objetivos de mitigación de GEI puede proporcionar las ventajas mencionadas anteriormente y contribuir a las metas de desarrollo relativas al empleo, la pobreza y la equidad. El análisis de políticas posibles debe tener en cuenta estos co-beneficios. Sin embargo, se debe señalar nuevamente que, en circunstancias específicas, la persecución de objetivos de disminución de la contaminación del aire o la seguridad energética pueden traer consigo el aumento del uso energético y de las emisiones de GEI asociadas.

Las políticas de liberalización y privatización a fin de desarrollar mercados energéticos libres tienen el objetivo de permitir una mayor competencia y disminuir los precios del consumidor, pero no siempre se ha tenido éxito en este sentido, a veces traen como resultado la falta de capital de inversión y no consideran los impactos en el entorno (*acuerdo alto, pruebas abundantes*) [4.2.4; 4.5.2; 4.5.3; 4.5.4].

Investigación, desarrollo, difusión y transferencia tecnológica

La inversión en I+D de la tecnología energética disminuyó en general a partir de los niveles alcanzados durante la crisis petrolera a finales del decenio de 1970. Entre 1980 y 2002, la inversión pública en I+D relativos a energía disminuyó un 50% en términos reales. Los niveles actuales han aumentado, pero todavía no son los adecuados para desarrollar las tecnologías necesarias a fin de disminuir las emisiones de GEI y satisfacer la creciente demanda energética. Se necesitará una mayor inversión pública y privada para la rápida implementación de tecnologías energéticas con bajo contenido de carbono. Se necesitará el desarrollo de tecnologías mejoradas de conversión de energía, transporte de energía y métodos de almacenamiento, gestión de carga, generación cooperativa y servicios de la comunidad (*acuerdo alto, pruebas limitadas*) [4.5.6].

Perspectiva a largo plazo

Las perspectivas de la OIE y del Consejo Mundial de la Energía prevén aumentos en la demanda energética primaria de entre 40 y 150% para el año 2050 por encima de la demanda actual, en dependencia de los escenarios de crecimiento demográfico y económico y la tasa de desarrollo tecnológico. Se prevé que el uso de la electricidad aumente entre un 110 y 260%. Ambas organizaciones se percatan de que los escenarios tradicionales no son sostenibles. Existe un consenso en que incluso con una buena toma de decisiones y cooperación entre el sector privado y público, la transición necesaria tomará tiempo y cuanto antes empiece, más bajos serán los costes (*acuerdo alto, pruebas abundantes*) [4.2.3].

5. Sector del transporte y su infraestructura

Estado y desarrollo del sector

El transporte aumenta a escala mundial a medida que crecen las economías. Esto se cumple, especialmente, en muchas áreas del mundo en desarrollo donde la mundialización está ampliando los flujos comerciales y el incremento de la renta personal está aumentando la demanda de movilidad motorizada. El transporte actual se impulsa principalmente mediante motores de combustión interna alimentados por combustibles petrolíferos (95% del 83 EJ del uso de energía de transporte mundial en 2004). Como consecuencia, el uso del petróleo sigue de cerca al crecimiento del transporte. En el año 2004, la energía del transporte ascendió al 26% del total de la energía mundial utilizada. En el mundo desarrollado, la energía del transporte continúa aumentando ligeramente a más de un 1% anual. El transporte de pasajeros consume actualmente del 60 al 75% del total de la energía del transporte. En los países en desarrollo, el uso de la energía para transporte aumenta con mayor rapidez (del 3 al 5% anual) y se prevé un crecimiento desde el 31% en el año 2002 al 43% del uso mundial de energía para transporte para el año 2005 [5.2.1; 5.2.2].

Se prevé que el transporte aumente considerablemente durante los próximos decenios. A no ser que exista un cambio importante en los patrones actuales de uso energético, las proyecciones indican un aumento continuado en el uso mundial de la energía para transporte del 2% anual, con el uso de energía y las emisiones de carbono aproximadamente un 80% por encima de los niveles de 2002 en el año 2030 [5.2.2].

En las economías desarrolladas, la tenencia de vehículos alcanza la cifra de cinco a ocho automóviles por cada diez habitantes (Gráfico RT.14). En los países en desarrollo, los niveles de tenencia de vehículos son mucho más bajos. En estos países, el transporte no motorizado desempeña una función importante y existe una mayor dependencia de los vehículos motorizados de dos y tres ruedas y del transporte público. Sin embargo, se prevé que la motorización del transporte en el mundo en desarrollo crezca rápidamente en los próximos decenios. A medida que aumenten la renta y el valor del tiempo de los viajeros, se prevé que los viajeros escojan modos de transporte más veloces y cambien de vehículos no motorizados a automóviles, aeronaves y trenes de alta velocidad. El aumento de la velocidad generalmente provoca mayor intensidad energética y mayores emisiones de GEI.

Además de las emisiones de GEI, la motorización del transporte crea problemas de congestión y contaminación del aire en las grandes ciudades del mundo (*acuerdo alto, pruebas abundantes*) [5.2.1; 5.2.2; 5.5.4].

Tendencias de emisiones

En el año 2004, la porción atribuible al transporte del total de emisiones de GEI relativas a la energía fue de alrededor del 23%,

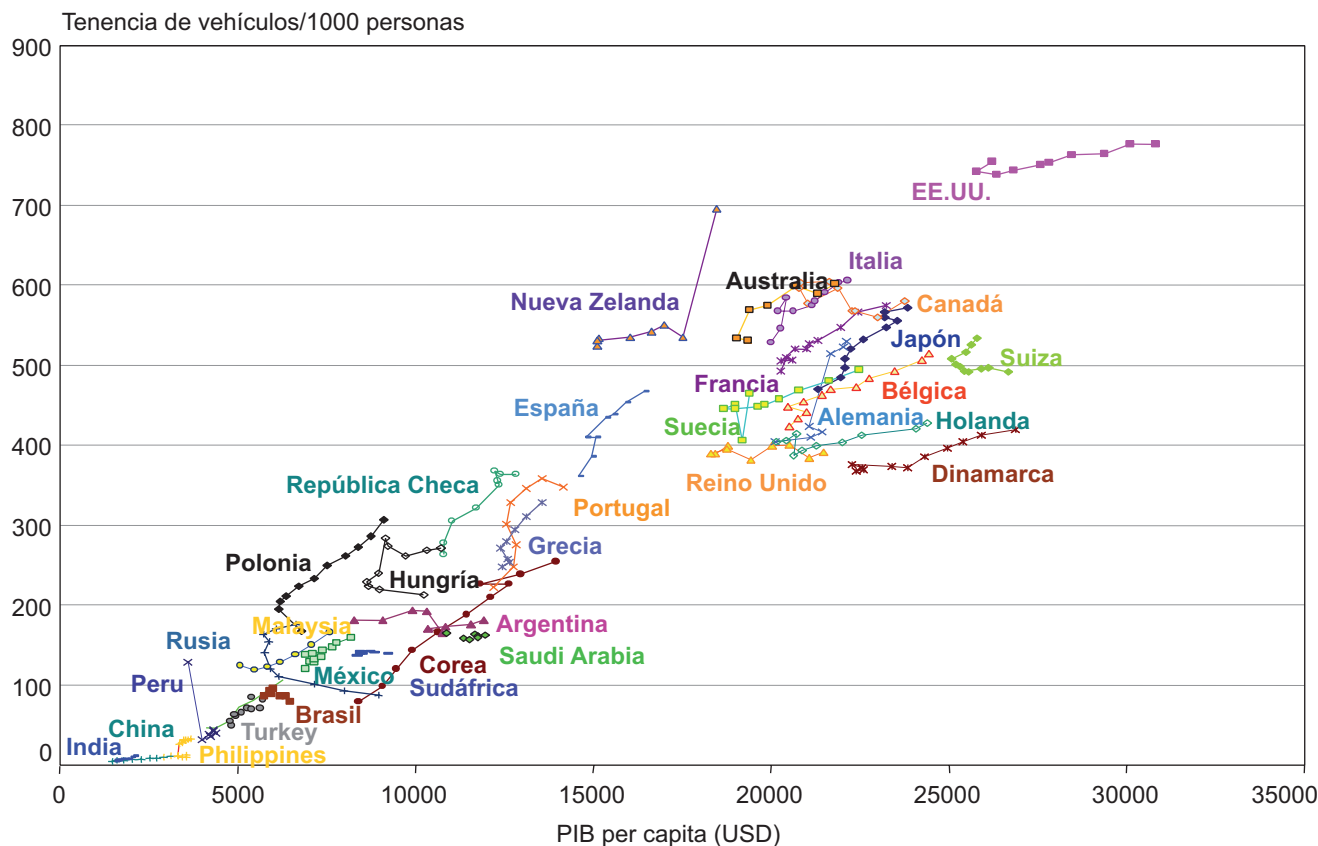


Gráfico RT.14: Tenencia de vehículos y renta per cápita como línea de tiempo por país [Gráfico 5.2].

Nota: los datos corresponden al período 1990–2002, pero los años representados varían por país, en dependencia de la disponibilidad de datos.

ascendiendo las emisiones de CO₂ y N₂O a 6,3–6,4 GtCO₂-eq. Las emisiones de CO₂ del sector del transporte (6,2 GtCO₂-eq en el año 2004) aumentaron aproximadamente un 27% a partir de 1990 y su tasa de crecimiento es la mayor entre los sectores de usuarios finales. En la actualidad, el transporte por carretera asciende al 47% del total de las emisiones de CO₂ relativas al transporte. La porción atribuible a países que no pertenecen a la OCDE es del 36% en la actualidad y aumentará con rapidez al 46% en el año 2030 si se mantienen las tendencias actuales (*acuerdo alto, pruebas medianas*) [5.2.2].

El sector del transporte contribuye con pequeñas cantidades de emisiones de CH₄ y N₂O de la combustión de combustibles y gases-F del aire acondicionado de los vehículos. Las emisiones de CH₄ oscilan entre 0,1–0,3% del total de las emisiones de GEI del transporte, las de N₂O entre 2,0 y 2,8% (todas las cifras se basan sólo en datos de Estados Unidos, Japón y la UE). Las emisiones mundiales de gases-F (CFC-12 + HFC-134a+HCFC-22) en el año 2003 ascendieron al 4,9% del total de las emisiones de CO₂ relativas al transporte (*acuerdo mediano, pruebas limitadas*) [5.2.1].

Aumentaron las estimaciones para las emisiones de CO₂ de la aviación mundial en un factor de aproximadamente 1,5, desde 330 MtCO₂/año en 1990 a 480 MtCO₂/año en 2000, y representaron aproximadamente el 2% del total de las emisiones de CO₂ antropogénicas. Se prevé que las emisiones de CO₂ de la aviación

continúen aumentando intensamente. Si no existen medidas adicionales, el aumento de aproximadamente un 5% en el tráfico al año superará en gran medida las mejoras anuales proyectadas en la eficacia del combustible de la aviación del orden del 1–2%, lo que provocaría un aumento proyectado en las emisiones de un 3–4% anual (*acuerdo alto, pruebas medianas*). Por otra parte, el impacto climático general de la aviación es mucho mayor que el impacto del CO₂ sólo. Además de emitir CO₂, las aeronaves contribuyen al cambio climático mediante la emisión de óxidos de nitrógeno (NO_x), que son particularmente eficaces en la formación del ozono GEI cuando se emiten a altitudes de crucero. Las aeronaves también desencadenan la formación de estelas de condensación o estelas de vapor, que se supone que intensifican la formación de nubes cirros, que aumentan el efecto general de calentamiento mundial. Estos efectos se consideran entre dos y cuatro veces mayores que los del CO₂ de la aviación solamente, aún sin considerar el impacto potencial de la intensificación de las nubes cirro. La eficacia medioambiental de las políticas futuras de mitigación para la aviación dependerá de la medida en que se aborden también estos efectos no relacionados con el CO₂ (*acuerdo alto, pruebas medianas*) [5.2.1; 5.2.2].

Todas las proyecciones debatidas con anterioridad asumen que las reservas de petróleo mundiales serán más que suficientes para soportar el crecimiento previsto en el transporte. Sin embargo, se mantiene el debate sobre si el mundo está cerca de un pico en la producción tradicional de petróleo que necesitará

una transición rápida e importante hacia fuentes alternativas de energía. Las fuentes alternativas de energía, incluidas las arenas petrolíferas, pizarras bituminosas, carbón líquido, biocombustibles, electricidad e hidrógeno, no escasean. Entre estas alternativas, los recursos no convencionales de carbono fósil producirían los combustibles menos costosos y más compatibles con la infraestructura de transporte existente. Desafortunadamente, la extracción de estos recursos fósiles para alimentar el transporte aumentaría las emisiones ascendentes de carbono e incrementaría en demasía la introducción de carbono en la atmósfera. [5.2.2; 5.3].

Descripción y evaluación de, tecnologías y prácticas, opciones, potenciales y costes de mitigación

El transporte se distingue de otros sectores consumidores de energía por su dependencia predominante de un solo recurso fósil y por la imposibilidad de capturar las emisiones de carbono de los vehículos con ninguna tecnología conocida. Además, es importante apreciar las reducciones de emisiones de GEI combinadas con la contaminación del aire y los problemas de congestión y seguridad energética (importación de petróleo). Por tanto, las soluciones deben tratar de optimizar las mejoras en los problemas de transporte como un todo y no solamente las emisiones de GEI [5.5.4].

Las tecnologías de mitigación han experimentado desarrollos significativos desde el Tercer Informe de Evaluación (TAR) y se han lanzado a escala mundial programas significativos de investigación, desarrollo y demostración sobre vehículos impulsados por celdas de combustible de energía de hidrógeno. Además, existen todavía muchas oportunidades para mejorar las tecnologías tradicionales. Los biocombustibles siguen siendo importantes en algunos mercados y tienen un potencial mayor para el futuro. Se han desarrollado sistemas de aire acondicionado de vehículos basados en refrigerantes con bajo PCM para tratar el problema de las emisiones no relacionadas con el CO₂ [5.3].

Tráfico por carretera: tecnologías eficientes y combustibles alternativos

A partir del TAR, ha mejorado la eficiencia energética de los vehículos por carretera debido al éxito de mercado de motores turbodiesel de inyección directa (TDI) más limpios y la penetración sostenida en el mercado de muchas tecnologías para aumentar la eficiencia. Los vehículos híbridos también han desempeñado una gran función, aunque su penetración en el mercado es actualmente pequeña. Se prevén más avances tecnológicos para los vehículos híbridos y motores diesel TID. La combinación de éstas con otras tecnologías, incluida la sustitución de materiales, la reducción de la resistencia aerodinámica, la reducción de la resistencia al rodaje, la reducción de la fricción del motor y las pérdidas de bombeo, tienen potencial para aproximadamente duplicar el ahorro de combustible de los «nuevos» vehículos utilitarios ligeros para el año 2030, reduciendo así casi a la mitad las emisiones de carbono por milla transitada en vehículo (solamente para automóviles nuevos y no para el promedio del parque). (acuerdo mediano, pruebas medianas) [5.3.1].

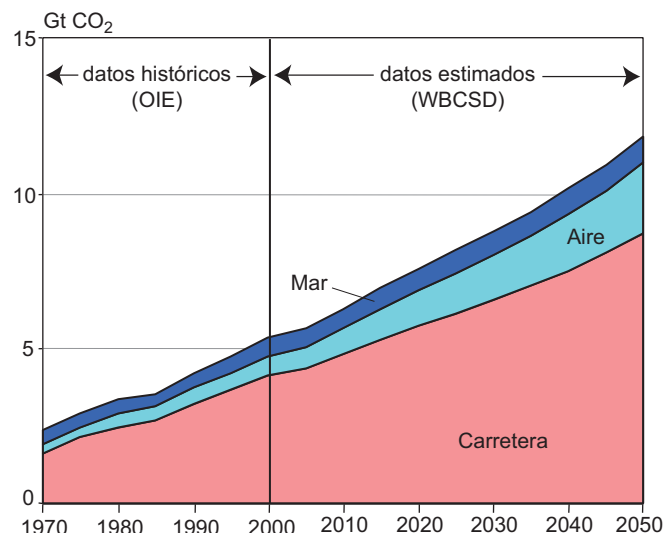


Gráfico RT.15: Emisiones de CO₂ históricas y proyectadas para el transporte [Gráfico 5.4].

Los biocombustibles tienen potencial para reemplazar una parte importante, pero no el total, del petróleo utilizado por el transporte. Un informe reciente de la OIE estima que la porción de biocombustibles puede aumentar aproximadamente un 10% para el año 2030 a un coste de 25 USD/tCO₂-eq, los que incluye una contribución pequeña de biocombustibles de biomasa celulósica. El potencial depende en gran medida de la eficacia en la producción, el desarrollo de técnicas avanzadas, como la conversión de celulosa mediante procesos enzimáticos o por gasificación y síntesis, los costes y la competencia con otros usos del territorio. En la actualidad, el coste y desempeño del etanol en términos de emisiones de CO₂ evitadas es desfavorable, excepto para la producción a partir de caña de azúcar en países con salarios bajos (Gráfico RT.16) (*acuerdo mediano, pruebas medianas*) [5.3.1].

El potencial económico y de mercado de los vehículos de hidrógeno se mantiene incierto. Los vehículos eléctricos con alta eficiencia (más del 90%) pero baja capacidad de transmisión y corta vida de la batería tienen una penetración limitada en el mercado. En ambas opciones, las emisiones se determinan por la producción de hidrógeno y electricidad. Si el hidrógeno se produce a partir de carbón o gas con CAC (actualmente la vía más barata) o de energía de biomasa, solar, nuclear o eólica, se podrían eliminar casi totalmente las emisiones de carbono desde la producción al consumo. Se necesitarán más avances tecnológicos y/o reducciones de costes en las celdas de combustible, almacenamiento de hidrógeno, producción de hidrógeno o electricidad con cero o bajas emisiones de carbono y baterías (*acuerdo alto, pruebas medianas*) [5.3.1].

El potencial de mitigación total en el año 2030 de las opciones de eficiencia energética aplicadas a Vehículos Utilitarios Ligeros sería de aproximadamente 0,7–0,8 GtCO₂-eq en 2030 con costes menores de 100 USD/tCO₂. No existen datos suficientes para estimar el potencial para los vehículos pesados. El uso de los biocombustibles actuales y avanzados, como se menciona

anteriormente, ofrecería un potencial de reducción adicional de 600–1500 MtCO₂-eq en el año 2030 con costes menores de 25 USD/tCO₂ (*acuerdo bajo, pruebas limitadas*) [5.4.2].

Una amenaza importante para el potencial de reducción futura de las emisiones de CO₂ derivadas del uso de las tecnologías de ahorro de combustibles es que se pueden utilizar para aumentar la potencia y tamaño de los vehículos en vez de mejorar el ahorro total de combustible y reducir las emisiones de carbono. La preferencia del mercado por vehículos con mayor potencia y tamaño ha consumido gran parte del potencial para la reducción de la mitigación de los GEI alcanzado en los dos últimos decenios. Si esta tendencia continúa, disminuirá sensiblemente el potencial de mitigación de los GEI de las tecnologías avanzadas descritas anteriormente (*acuerdo alto, pruebas abundantes*) [5.2; 5.3].

Tráfico aéreo

Se puede mejorar la eficiencia del combustible de la aviación mediante varios medios, incluyendo la tecnología, operación y gestión del tráfico aéreo. Los desarrollos tecnológicos pueden ofrecer una mejora del 20% en la eficiencia del combustible respecto a los niveles de 1997 para el año 2015, con un 40–50% de mejora probable para el año 2050. Debido al continuo aumento de la aviación civil en aproximadamente un 5% anual, es improbable que tales mejoras detengan el aumento de las emisiones de carbono de la aviación a escala mundial.

La introducción de biocombustibles podría mitigar algunas de las emisiones de carbono de la aviación, si los biocombustibles

se desarrollan para satisfacer las exigentes especificaciones de la industria aeronáutica. Sin embargo, los costes de tales combustibles y las emisiones de sus procesos productivos son inciertos en el presente (*acuerdo mediano, pruebas medianas*) [5.3.3].

El uso energético (con emisiones de CO₂ mínimas) de las operaciones del transporte aéreo se pueden optimizar mediante la minimización del tiempo de taxi, vuelo a altitudes óptimas de crucero, planificación de rutas, reducción del tiempo de estancia en las proximidades de los aeropuertos. El potencial de reducción de los GEI de tales estrategias se ha estimado en un 6–12%. Más recientemente, los investigadores han comenzado a abordar el potencial para minimizar el impacto climático total de las operaciones del transporte aéreo, incluidos impactos en la capa de ozono, estelas de vapor y emisiones de óxidos de nitrógeno. El potencial de mitigación de la aviación en el año 2030 asciende a 280 MtCO₂/año con costes de <100 USD/tCO₂ (*acuerdo mediano, pruebas medianas*) [5.4.2].

Transporte marítimo

A partir del TAR, una evaluación de la Organización Marítima Internacional (OMI) concluyó que una combinación de medidas técnicas podría reducir las emisiones de carbono de los barcos viejos en un 4–20% y las de los barcos nuevos en un 5–30% al aplicar conocimientos innovadores como el diseño y mantenimiento de las hélices y los cascos. Sin embargo, se tardarán decenios en implementar las medidas en los barcos existentes debido a la larga duración de los motores. El potencial a corto plazo de las medidas operativas, incluidas

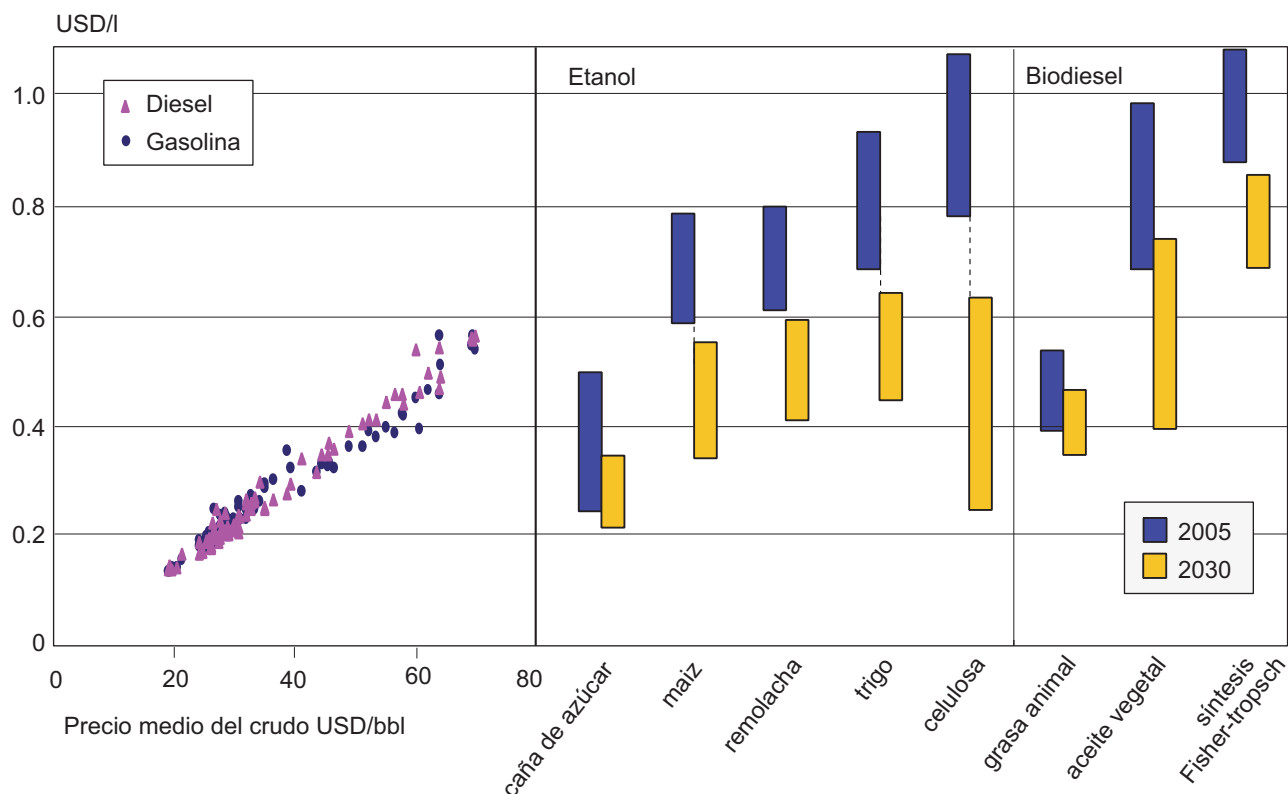


Gráfico RT.16: Comparación entre los costes de producción actuales y futuros de biocombustibles frente a los precios de la gasolina y diesel salido de la refinería (FOB) para un intervalo de precios del crudo [Gráfico 5.9].

Nota: los precios no incluyen impuestos.

la planificación de rutas y reducción de velocidad, varía del 1–40%. El estudio estimó una disminución máxima de las emisiones de la flota mundial de aproximadamente 18% para el año 2010 y 28% para 2020, cuando todas las medidas se hayan implementado. Los datos no ofrecen una estimación de la cifra absoluta del potencial de mitigación y se prevé que el potencial de mitigación no pueda superar el crecimiento de la actividad del transporte marítimo durante el mismo período (*acuerdo mediano, pruebas medianas*) [5.3.4].

Transporte por ferrocarril

Las principales opciones para mitigar las emisiones de GEI asociadas con el transporte por ferrocarril son: mejorar la aerodinámica, reducir el peso de los trenes, introducir frenos regeneradores y almacenamiento de energía a bordo y, por supuesto, mitigar las emisiones de GEI mediante la generación de electricidad. No existen estimaciones del potencial de mitigación total y los costes [5.3.2].

Cambios de modos y transporte público

Suministrar transporte público y la infraestructura relacionada y divulgar el uso de transportes no motorizados puede contribuir a la mitigación de los GEI. Sin embargo, las condiciones locales determinan la cantidad de transporte que se puede cambiar por modos con menos intensidad energética. Las tasas de ocupación y las fuentes de energía primaria de los modos de transporte determinan también el potencial de mitigación [5.3.1].

Las necesidades de energía del transporte urbano reciben una intensa influencia de la densidad y estructura espacial del entorno de construcción, así como de la ubicación, extensión y naturaleza de la infraestructura del transporte. Cada vez se usan más los autobuses de gran capacidad, trenes rápidos y metros a fin de expandir el transporte público. Los sistemas de Autobús de Tránsito Rápido tienen costes de capital y operación relativamente bajos, pero no se sabe si la puesta en práctica tendrá el mismo éxito en países en desarrollo que en América del Sur. Si aumentara la proporción de autobuses en el transporte de pasajeros en un 5–10%, disminuirían las emisiones de CO₂ en un 4–9% con costes del orden de USD60–70tCO₂ [53.1].

Más del 30% de los viajes que realizan los vehículos en Europa son de menos de 3 Km. y el 50% de menos de 5 km. Aunque la cifra puede variar en otros continentes, existe potencial de mitigación al cambiar automóviles por transporte no motorizado (caminar o ir en bicicleta) o prevenir el crecimiento del transporte en automóvil a expensas del transporte no motorizado. Los potenciales de mitigación dependen en gran medida de las condiciones locales, pero existen co-beneficios considerables en términos de calidad del aire, congestión y seguridad en la vía (*acuerdo alto, pruebas abundantes*) [5.3.1].

Potencial de mitigación total en el sector del transporte

El total del potencial y los costes de mitigación de CO₂ sólo se pueden estimar parcialmente debido a la falta de datos sobre vehículos pesados, transporte por ferrocarril, transporte marítimo y cambio en la distribución por modos de transporte/promoción del transporte público. El total del potencial económico para

la mejora de la eficiencia de los vehículos utilitarios ligeros y aeronaves y la sustitución de combustibles fósiles tradicionales por biocombustibles, para un precio del carbón de hasta 100 USD/tCO₂-eq, se estima en aproximadamente 1600–2550 MtCO₂. Esto representa una evaluación por debajo del potencial de mitigación en el sector del transporte (*acuerdo alto, pruebas medianas*) [5.4.2].

Eficacia de las políticas climáticas y experiencia con las mismas, potenciales, barreras y oportunidades/ problemas de implementación

Políticas y medidas para el transporte de superficie

Dados los efectos positivos de la alta densidad demográfica en el uso del transporte, desplazamiento a pie, desplazamiento en bicicletas y emisiones de CO₂, una planificación espacial mejor integrada constituye un elemento importante de política en el sector del transporte. Existen buenos ejemplos en grandes ciudades de diferentes países. La Gestión de la Demanda de Transporte (GDT) puede reducir de manera eficaz los viajes en vehículos privados si se ejecuta y apoya con rigurosidad. Medidas flexibles, como el suministro de información y el uso de estrategias de comunicación y técnicas educativas provocaron un cambio en el comportamiento personal que condujo a la reducción del uso de automóviles en un 14% en una ciudad australiana, 12% en una ciudad alemana y 13% en una ciudad sueca (*acuerdo mediano, pruebas medianas*) [5.5.1].

Las normas de ahorro de combustibles o normas de CO₂ han sido eficaces para reducir las emisiones de GEI pero, hasta el momento, el crecimiento del transporte supera su impacto. La mayoría de los países industrializados y algunos países en desarrollo establecieron normas de ahorro de combustibles para vehículos utilitarios ligeros nuevos. Las formas y severidad de las normas varía en gran medida: desde normas uniformes corporativas promedio obligatorias, pasando por normas graduadas según el peso, tipo o tamaño del vehículo, hasta normas voluntarias industriales. Las normas de ahorro de combustibles son eficaces universalmente, en dependencia de su severidad, para la mejora del ahorro de combustible del vehículo, aumento del promedio de combustible económico en carretera y reducen el consumo de combustible y las emisiones de carbono. En algunos países, segmentos de la industria automotriz se han opuesto firmemente a los normas de ahorro de combustible por una serie de razones, desde la eficacia económica hasta la seguridad. La combinación de incentivos fiscales e información al consumidor puede mejorar significativamente la eficacia general de las normas (*acuerdo alto, pruebas abundantes*) [5.5.1].

Los impuestos sobre compra de automóviles, inscripción, uso y combustibles de motor, así como políticas de precios por estacionamientos y uso de carreteras son importantes determinantes del uso de la energía de vehículos y las emisiones de GEI. Estas políticas se emplean en diferentes países para elevar los ingresos generales, incorporar parcialmente los costes externos del uso de vehículos o para controlar la congestión en carreteras públicas. Una razón principal por la cual el impuesto sobre el combustible o CO₂ tiene efectos limitados es que la

fluctuación de los precios tiende a ser considerablemente menor que la elasticidad de la demanda respecto a la renta. A la larga, la elasticidad de la demanda respecto a la renta es un factor 1,5–3 veces mayor que la elasticidad de los precios de la demanda total de transporte. Esto significa que las señales de precios son menos eficaces frente a rentas mayores. El descuento en la compra de vehículos e impuestos de inscripción para vehículos eficientes en cuanto al uso de combustibles ha demostrado ser eficaz. En muchas ciudades se aplican políticas de precios de estacionamiento y carretera, y tienen efectos pronunciados en el tráfico de automóviles de pasajeros (*acuerdo alto, pruebas abundantes*) [5.5.1]

Muchos gobiernos han introducido o intentan implementar políticas para promover los biocombustibles en las estrategias nacionales de disminución de las emisiones. Como el beneficio del combustible biológico para mitigar el CO₂ proviene principalmente de su proceso de producción, los incentivos por el uso de biocombustibles son políticas climáticas más eficaces si se vinculan a eficiencias respecto a emisiones de CO₂ desde la producción hasta el consumo. Como consecuencia, se deben calibrar las tasas preferenciales de impuestos, las subvenciones y las cuotas para la mezcla de combustibles para los beneficios en términos de ahorro neto de CO₂ en el ciclo completo desde la producción al consumo asociado a cada combustible. A fin de evitar los efectos negativos de la producción de biocombustibles para el desarrollo sostenible (por ejemplo, impactos en la biodiversidad), se podrían vincular condiciones adicionales a incentivos a los biocombustibles.

Políticas y medidas para el transporte marítimo y aéreo

Se necesita desarrollar nuevos marcos de políticas a fin de reducir las emisiones del transporte marítimo y aéreo que resultan de la combustión de combustibles de tanques. La Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) y la OMI han estudiado las opciones para reducir las emisiones de GEI. Sin embargo, ninguna ha conseguido todavía idear un marco conveniente para ejecutar las políticas. No obstante, la OACI respalda el concepto de un sistema internacional abierto de comercio de emisiones implementado mediante un esquema voluntario o la incorporación de la aviación internacional dentro de los sistemas existentes de comercio de emisiones.

En la aviación, el comercio y los costes del combustible o las emisiones tendrían potencial para reducir considerablemente las emisiones. El alcance geográfico (cobertura de rutas y operadores), la cantidad de permisos asignados al sector de la aviación y la cobertura de impactos climáticos no relacionados con el CO₂ constituirán elementos de diseño claves para determinar la eficacia del comercio de emisiones en la reducción de los impactos climáticos de la aviación. Los costes o el comercio de emisiones aumentaría los costes del combustible, lo que tendría a su vez un impacto positivo en la eficiencia de los motores [5.5.2].

Las iniciativas políticas actuales del sector marítimo se basan principalmente en esquemas voluntarios y utilizan índices para medir la eficiencia en cuanto al combustible de

los barcos. En algunos lugares se utilizan derechos portuarios medioambientalmente diferenciados. Otras políticas para reducir las emisiones marítimas serán la inclusión del transporte marítimo internacional en los esquemas internacionales de comercio de emisiones, impuestos sobre el combustible e instrumentos reguladores (*acuerdo alto, pruebas medianas*) [5.5.2].

Políticas integradas y no climáticas que afectan las emisiones de GEI y beneficios conjuntos de las políticas de mitigación de GEI

Recientemente, las cuestiones del desarrollo sostenible son más importantes para la política y planificación del transporte. Estas cuestiones incluyen la reducción de las importaciones de petróleo, la mejora de la calidad del aire, la reducción de la contaminación acústica, el aumento de la seguridad, la disminución de la congestión y la mejora del acceso al transporte. Tales políticas pueden tener una sinergia importante con la reducción de las emisiones de GEI (*acuerdo alto, pruebas medianas*) [5.5.4; 5.5.5].

6. Sector de edificios comerciales y residenciales

Estado del sector y tendencias de emisiones

En el año 2004, las emisiones directas de GEI del sector de edificios (se excluyen las emisiones del uso de la electricidad) fueron de 5 GtCO₂-eq/año (3 GtCO₂-eq/año CO₂; 0,1 GtCO₂-eq/año N₂O; 0,4 GtCO₂-eq/año CH₄ y 1,5 GtCO₂-eq/año halocarbonos). La cifra final incluye los gases-F del Protocolo de Montreal y aproximadamente 0,1–0,2 GtCO₂-eq/año de HFC. El potencial de mitigación se calcula generalmente con la inclusión de las medidas de ahorro de electricidad, ya que la mitigación en este sector incluye muchas medidas destinadas al ahorro de electricidad. A modo comparativo, las cifras de emisiones del sector de edificios se presentan a menudo con la inclusión de las emisiones del uso de electricidad. Cuando se incluyeron las emisiones del uso de electricidad, las emisiones de CO₂ relativas a la energía del sector de edificios ascendieron a 8,6 Gt/año, o el 33% del total mundial en el año 2004. El total de emisiones de GEI, incluidas las emisiones del uso de electricidad, se estiman en 10,6 GtCO₂-eq/año (*acuerdo alto, pruebas medianas*) [6.2].

Emisiones futuras de carbono derivadas del uso energético en edificios

La literatura del sector de edificios utiliza una mezcla de líneas de base. Por tanto, en este capítulo, la línea de base del sector de edificios se definió en alguna parte entre los escenarios IE-EE B2 y A1B2, con 14,3 GtCO₂-eq de emisiones de GEI (incluidas las emisiones del uso de electricidad) en el año 2030. Las emisiones correspondientes en los escenarios IE-EE B2 y A1B ascienden a 11,4 y 15,6 GtCO₂-eq. En el escenario IE-EE B2 (Gráfico RT.17), que se basa en un crecimiento económico relativamente menor, América del Norte y los países de Asia Oriental que no corresponden al Anexo I muestran la mayor contribución al aumento de las emisiones. En el escenario IE-EE A1B, que muestra un crecimiento económico rápido, el total del aumento

de las emisiones de CO₂ corresponde al mundo en desarrollo: Asia, Oriente Próximo, África Oriental y Septentrional, América Latina y África Subsahariana, en este orden. En general, el promedio anual de crecimiento de emisiones de CO₂ entre 2004 y 2030 es de 1,5% en el escenario B2 y de 2,4% en el escenario A1B (*acuerdo alto, pruebas medianas*) [6.2, 6.3].

Tecnologías y prácticas de mitigación

Las medidas para reducir las emisiones de GEI de los edificios se dividen en tres categorías: 1) reducción del consumo energético¹³ y energía incluida en los edificios; 2) transición a combustibles con bajo contenido de carbono, incluida una alta porción de energía renovable; 3) control de las emisiones de GEI no relacionados con el CO₂. En la actualidad muchas tecnologías permiten la reducción del consumo energético de edificios mediante mejores cubiertas térmicas¹⁴, el perfeccionamiento de los métodos de diseño y las operaciones de los edificios, equipos más eficaces y la reducción de la demanda de servicios energéticos. La importancia relativa de la calefacción y enfriamiento depende del clima y, por tanto, varía regionalmente, mientras que la eficacia de las técnicas de diseño pasivo también depende del clima, con diferencias considerables entre regiones cálidas-húmedas y cálidas-áridas. La conducta de los inquilinos, incluyendo evitar el uso innecesario de equipos y temperaturas estándar para la calefacción y enfriamiento adaptables en lugar de invariables, constituye un factor muy importante para disminuir el uso energético en los edificios (*acuerdo alto, pruebas abundantes*) [6.4].

Potencial de mitigación para el sector de edificios

Se puede lograr una disminución considerable de las emisiones de CO₂ derivadas del uso energético en edificios en los próximos años frente a las emisiones proyectadas. La experiencia considerable en una amplia gama de tecnologías, prácticas y sistemas para la eficiencia energética y una rica experiencia con políticas y programas divulgadores de la eficiencia energética en los edificios muestran otorgar una

credibilidad considerable a esta opinión. Una parte significativa de estos ahorros se puede lograr mediante la reducción de los costes del ciclo de vida, de manera que produzca reducciones en las emisiones de CO₂ que tienen un coste negativo (en general un alto coste de inversión pero un bajo coste operativo) (*acuerdo alto, pruebas abundantes*) [6.4, 6.5].

Una investigación de 80 estudios respalda estas conclusiones (Tabla RT.5), la cual muestra que las tecnologías de iluminación eficientes se encuentran entre las medidas más prometedoras de disminución de GEI en edificios en la mayoría de los países, en términos de eficacia de costes y potencial de ahorro. Para el año 2020, se puede disminuir aproximadamente 760 tM de emisiones de CO₂ con la adopción a escala mundial de sistemas de iluminación de menor coste de ciclo de vida, a un coste promedio de 160USD/tCO₂ (es decir, con un beneficio económico neto). En términos de magnitud de ahorro, el perfeccionamiento del aislante y calefacción por distritos en los climas más fríos y medidas de eficiencia relacionadas con el enfriamiento de espacios y la ventilación en los climas más cálidos son prioritarias en la mayoría de las investigaciones, junto con las estufas de cocción en los países en desarrollo. Otras medidas importantes en términos de potencial de ahorro son: calentadores de agua solares, electrodomésticos eficientes y sistemas de gestión energética.

En cuanto a la rentabilidad, en los países en desarrollo las estufas de cocción ocupan el segundo lugar después de la iluminación; mientras que en los países desarrollados, las medidas que ocupan el segundo lugar difieren en cuanto a región geográfica y climática. Casi la mayoría de los estudios que examinan las economías en transición (específicamente en climas fríos) indican que las medidas relativas a la calefacción son las más rentables, incluido el aislamiento de paredes, techos, ventanas y suelos, así como el perfeccionamiento de controles de calefacción para la calefacción por distritos. En los países desarrollados, las medidas relativas a electrodomésticos se identifican generalmente como las más rentables, ocupando

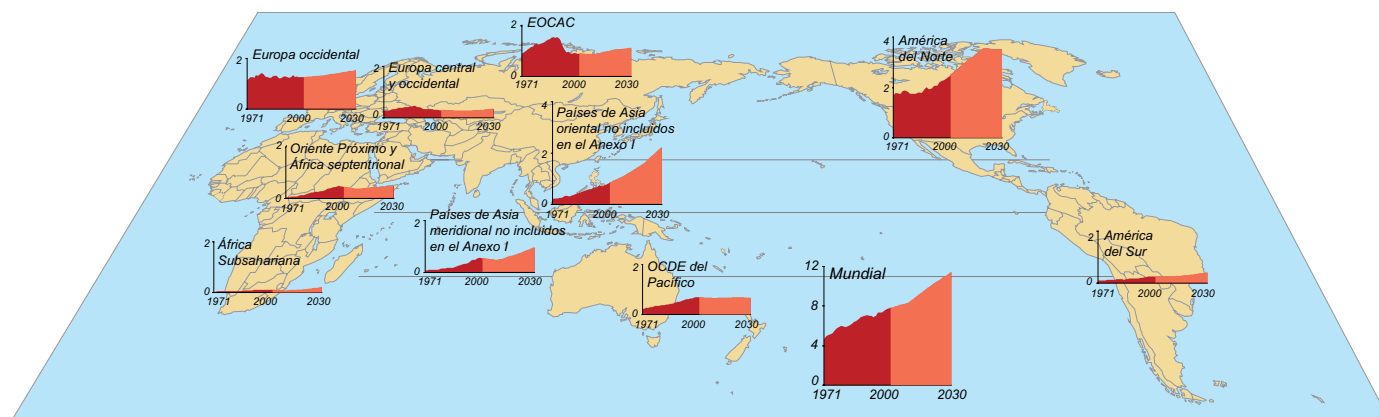


Gráfico RT.17: Emisiones de CO₂ (GtCO₂) de edificios incluidas las emisiones del uso de electricidad, 1971–2030 [Gráfico 6.2].

Nota: Rojo oscuro-emisiones históricas; rojo claro-proyección de acuerdo con el escenario IE-EE B2. EOCAC = países de Europa Oriental, Cáucaso y Asia central.

¹³ Esto incluye todas las formas de uso energético en los edificios, incluyendo electricidad.

¹⁴ El término «cubierta térmica» hace referencia al almacén de un edificio como barrera frente a la transferencia de calor indeseado o masa entre el interior del edificio y el exterior.

Tabla RT.5: Potencial de reducción de GEI para el sector de edificios en el año 2020 [Tabla 6.2].

Región Económica	Países/Grupo de países por región	Potencial como % de la línea de base nacional para edificios ^b	Medidas que cubren el potencial mayor	Medidas que suministran las opciones más baratas de mitigación
Países Desarrollados	EE.UE., UE-15, Canadá, Grecia, Australia, República de Corea, Reino Unido, Alemania, Japón	<u>Técnico:</u> 21%–54% ^c <u>Económico (<USD 0/tCO₂-eq):</u> 12%–25% ^d <u>Mercado:</u> 15%–37%	1. Instalación de forros, esp. en ventanas y paredes; 2. Sistema de calefacción de espacios; 3. Iluminación eficiente, específicamente cambio a lámparas fluorescentes compactas y hormigón eficaz.	1. electrodomésticos como Televisores eficaces y periféricos, refrigeradores y congeladores, ventiladores y aires acondicionados; 2. calentadores de agua; 3. Mejores prácticas de iluminación.
Economías en transición	Hungría, Rusia, Polonia, Croacia, como un grupo: Latvia, Lituania, Estonia, Eslovaquia, Eslovenia, Hungría, Malta, Chipre, Polonia, República Checa	<u>Técnico:</u> 26%–47% ^e <u>Económico (<USD 0/tCO₂-eq):</u> 13%–37% ^f <u>Mercado:</u> 14%	1. Aislamiento previo y posterior y reemplazo de los componentes de los edificios, esp. ventanas; 2. Iluminación eficaz, esp. Cambio a lámparas fluorescentes; 3. electrodomésticos eficientes como refrigeradores y calentadores de agua.	1. Iluminación eficiente y controles; 2. Sistemas de control de espacio para calefacción y agua; 3. Instalación y reemplazo de componentes de edificios, esp. ventanas.
Países en desarrollo	Myanmar, India, Indonesia, Argentina, Brasil, China, Ecuador, Tailandia, Pakistán, Sudáfrica	<u>Técnico:</u> 18%–41% <u>Económico (<USD 0/tCO₂-eq):</u> 13%–52% ^g <u>Mercado:</u> 23%	1. Iluminación eficiente, esp. Cambio a lámparas fluorescentes, instalación de luces y lámparas de keroseno; 2. varios tipos de perfeccionamiento de las estufas de cocción, esp. Estufas de cocción de biomasa y de keroseno; 3. Electrodomésticos eficaces como aires acondicionados y refrigeradores.	1. perfeccionamiento de luces, ep. Cambio a lámparas fluorescentes y lámparas de keroseno eficaces; 2. Estufas de cocción de biomasa y de keroseno 3. electrodomésticos eficaces como aires acondicionados y refrigeradores.

Notas:

- a) Excepto en UE-15, Grecia, Canadá, India y Rusia, para los cuales el año designado fue 2010, y Hungría, Ecuador y Sudáfrica, para los cuales el año designado fue 2030.
- b) El hecho de que los países desarrollados tengan un potencial de mercado mayor que el potencial económico se explica porque los estudios sólo se limitan a un tipo de potencial, de manera que falta información sobre estudios con probabilidades de tener una alto potencial económico.
- c) Para el año 2010, si se utiliza la fórmula de Potencial₂₀₂₀ = 1 - (1 - Potencial₂₀₁₀)^{20/10} para extrapolar el potencial como porcentaje de la línea de base hacia el futuro (se asume el año 2000 como año de inicio), este intervalo sería de 38%–79%.
- d) Para el año 2010, si se utiliza la fórmula de extrapolación, este intervalo sería de 22%–44%.
- e) La última cifra es del año 2010, si se utiliza la fórmula de extrapolación corresponde al 72% en el año 2020.
- f) La primera cifra es para el año 2010, si se utiliza la fórmula de extrapolación corresponde al 24% en el año 2020.
- g) La última cifra es para el año 2030, si se aplica la fórmula de extrapolación para derivar el potencial intermedio corresponde al 38% en el año 2020.

un lugar prioritario el perfeccionamiento de los equipos de enfriamiento en los climas más cálidos. El ahorro en los aires acondicionados puede ser más caro que otras medidas de eficiencia pero todavía es rentable, porque tiende a desplazar un pico eléctrico todavía más costoso.

En los nuevos edificios individuales, es posible alcanzar el 75% o más de ahorro de energía si se compara con las prácticas actuales, a menudo con costes extras bajos o nulos. Para llevar a cabo estos ahorros se necesita un proceso de diseño integrado que incluya arquitectos, ingenieros, contratistas y clientes, considerando la totalidad de las oportunidades a fin de reducir las demandas energéticas en los edificios [6.4.1].

Es muy importante tratar la mitigación de GEI en el sector de edificios en los países en desarrollo. Las estufas de cocción se

pueden diseñar para funcionar con mayor eficiencia y quemar mejor las partículas, beneficiando así a los habitantes de las aldeas a través de la mejora de la calidad del aire interior, a la vez que se reducen las emisiones de GEI. Se pueden encontrar fuentes locales de materiales mejorados con bajo contenido de GEI. Es necesario aplicar las tecnologías modernas usadas en los países desarrollados para reducir las emisiones de GEI en zonas urbanas y, cada vez más, en zonas rurales [6.4.3].

En los edificios comerciales aparecen nuevas áreas para el ahorro energético que incluyen: aplicar controles y la informática para continuamente supervisar, diagnosticar y comunicar fallos en los edificios comerciales («control inteligente»); y enfoques de sistemas para disminuir la necesidad de ventilación, enfriamiento y eliminación de la humedad. Resulta igualmente importante un sistema avanzado de ventanas, diseño solar pasivo, técnicas

Tabla RT.6: Proyecciones mundiales del potencial de mitigación de CO₂ en el año 2020 en función de los costes [Tabla 6.3].

Regiones del mundo	Emisiones de línea de base en el año 2020 GtCO ₂ -eq	Potenciales de mitigación de CO ₂ como porción de las proyecciones de emisiones de CO ₂ de línea de base en las categorías de costes en el año 2020 (costes en USD/tCO ₂ -eq)				Potenciales de mitigación de CO ₂ en valores absolutos en categorías de costes en el año 2020, GtCO ₂ -eq (costs in USD/tCO ₂ -eq)			
		<0	0-20	20-100	<100	<0	0-20	20-100	<100
Mundo	11.1	29%	3%	4%	36%	3.2	0.35	0.45	4.0
OCDE (-OIE)	4.8	27%	3%	2%	32%	1.3	0.10	0.10	1.6
OIE	1.3	29%	12%	23%	64%	0.4	0.15	0.30	0.85
No pertenecen a la OCDE	5.0	30%	2%	1%	32%	1.5	0.10	0.05	1.6

Nota: El potencial mundial agregado en función del coste y la región se basa en 17 estudios que indican los potenciales en detalle en función de los costes.

para eliminar fugas en edificios y tuberías, electrodomésticos ahorradores de energía y el control del consumo energético en estado de espera o parado así como una iluminación transistorizada, tanto en los edificios comerciales como los residenciales (*acuerdo alto, pruebas abundantes*) [6.5].

El comportamiento de los inquilinos, la cultura y la opción de los consumidores y el uso de la tecnología son factores que determinan el uso energético en los edificios y desempeñan una función primordial al determinar las emisiones de CO₂. Sin embargo, el potencial de disminución mediante opciones no tecnológicas se evalúa con poca frecuencia y no se comprenden bien el potencial de influencia de sus políticas (*acuerdo alto, pruebas medianas*).

La aplicación mundial de mejores prácticas y métodos de recuperación representan oportunidades para reducir las emisiones directas de gases fluorinados en el sector de edificios, con un potencial de mitigación para todos los gases de 0,7 GtCO₂-eq en el año 2015. La mitigación de los refrigerantes de halocarbonos se logra principalmente al evitar fugas en equipos de aire acondicionado y refrigeración (por ejemplo, durante su uso normal, mantenimiento y al final de su vida útil) y reducir el uso de halocarbonos en equipos nuevos. Un factor clave para determinar si este potencial se alcanzará lo constituyen los costes asociados a la ejecución de medidas para lograr la reducción de las emisiones. Esto varía considerablemente, desde un beneficio neto a 300 USD/tCO₂-eq (*acuerdo alto, pruebas abundantes*) [6.5].

Potencial de mitigación del sector de edificios

Existe un potencial mundial para reducir aproximadamente el 30% de las emisiones de línea de base proyectadas a partir de los costes del sector residencial y comercial de manera eficaz para el año 2020 (Tabla RT.6). Al menos se podrá evitar el 3% de las emisiones de línea de base a costes por encima de 20 USD/tCO₂-eq y un 4% más a costes por encima de 100 USD/tCO₂-eq. Sin embargo, debido a la existencia de grandes oportunidades a bajos costes, el potencial de altos costes sólo se ha evaluado hasta cierto punto y, por tanto, esta cifra está subestimada. Si utilizamos las proyecciones de emisiones mundiales de línea de base para edificios¹⁵, estas estimaciones representan una disminución de

aproximadamente 3,2, 3,6 y 4,0 Gtoneladas de CO₂-eq en el año 2020, a cero, 20 USD/tCO₂-eq, respectivamente (*acuerdo alto, pruebas abundantes*) [6.5].

El potencial real probablemente sea mayor, porque los estudios no consideraron todas las opciones de eficiencia de uso final; se omitieron las opciones no tecnológicas y sus beneficios conjuntos, con frecuencia significativos, así como los edificios integrados avanzados de alta eficacia. Sin embargo, el potencial de mercado es mucho menor que el potencial económico.

Dada la poca información para el año 2030, los hallazgos del año 2020 para el potencial económico hasta el año 2030 se han extrapolado para permitir comparaciones con otros sectores. La tabla RT.7 muestra las estimaciones. Al extrapolar los potenciales hacia el 2030, se observa que, a escala mundial, aproximadamente 4,5, 5,0 y 5,6 GtCO₂-eq/año se pueden reducir a costes de <0, <20 y <100 USD/tCO₂-eq, respectivamente. Esto equivale al 30, 35 y 40% de las emisiones de línea de base proyectadas. Estas cifras se asocian con niveles de certeza significativamente más bajos que los del año 2020 debido a la falta de estudios disponibles para el año 2030 (*acuerdo mediano, pocas pruebas*).

La perspectiva del futuro a largo plazo, si se asumen opciones en el sector de edificios con costes por encima de USD 25/tCO₂-eq, identifica un potencial de reducciones de aproximadamente 7,7 GtCO₂-eq en el año 2050.

Interacciones de las opciones de mitigación con la vulnerabilidad y adaptación

Si el mundo experimenta un calentamiento, disminuirá el uso energético relativo a la calefacción en climas templados (por ejemplo, Europa, zonas de Asia y América del Norte) y aumentará el uso energético relativo al enfriamiento en la mayoría de las regiones mundiales. Muchos estudios indican que, en países con climas moderados, el aumento de la electricidad relativo al enfriamiento adicional superará la disminución de la calefacción y se prevé un aumento significativo en la demanda pico de verano en Europa meridional. En dependencia de la mezcla de generación en países específicos, el efecto neto del

¹⁵ Las proyecciones de las emisiones de CO₂ de línea de base se calcularon sobre la base de 17 estudios usados para obtener el potencial total (si un estudio no contenía una línea de base, se utilizaron proyecciones de otros informe de mitigación nacional).

Tabla RT.7: Proyecciones del potencial de mitigación mundial de CO₂ para 2030, en función de los costes, basadas en la extrapolación de las cifras del año 2020, en GtCO₂ [Tabla 6.4].

Opción de Mitigación	Región	Proyecciones de línea de base en el año 2030	Potencial a costes por debajo de 100 USD/tCO ₂ -eq		Potenciales en diferentes categorías de costes		
			Bajo	Alto	<0 USD/tCO ₂	0–20 USD/tCO ₂	20–100 USD/tCO ₂
					<0 USD/tC	0–73 USD/tC	73–367 USD/tC
Ahorro de electricidad ^{a)}	OCDE	3.4	0.75	0.95	0.85	0.0	0.0
	OIE	0.40	0.15	0.20	0.20	0.0	0.0
	No pertenecen a OCDE/OIE	4.5	1.7	2.4	1.9	0.1	0.1
Ahorro de combustible	OCDE	2.0	1.0	1.2	0.85	0.2	0.1
	OIE	1.0	0.55	0.85	0.20	0.2	0.3
	No pertenecen a OCDE/OIE	3.0	0.70	0.80	0.65	0.1	0.0
Total	OCDE	5.4	1.8	2.2	1.7	0.2	0.1
	OIE	1.4	0.70	1.1	0.40	0.2	0.3
	No pertenecen a OCDE/OIE	7.5	2.4	3.2	2.5	0.1	0.0
	Mundial	14.3	4.8	6.4	4.5	0.5	0.7

Nota:

^{a)} Los valores absolutos de los potenciales resultantes del ahorro de electricidad que se muestran en la Tabla RT.8 y Capítulo 11, Tabla 11.3 no coinciden debido a diferentes líneas de base aplicadas; sin embargo, las estimaciones del potencial como porcentaje de la línea de base son iguales en ambos casos. Además, la Tabla 11.3 excluye la porción de reducciones de emisiones que ya el sector de suministro energético toma en cuenta, mientras la Tabla RT.7 no separa este potencial.

calentamiento sobre las emisiones de CO₂ aumentará, incluso en los casos en los que disminuya la demanda total de energía final. Esto origina una curva de retroefecto positivo: mayor enfriamiento mecánico emite más GEI, por tanto, exacerba el calentamiento (*acuerdo mediano, pruebas medianas*).

Las inversiones en el sector de edificios pueden reducir el coste total del cambio climático si se tratan simultáneamente la mitigación y adaptación. La sinergia más importante incluye la reducción de las necesidades del enfriamiento o uso energético mediante medidas tales como la aplicación de diseños integrados de edificios, construcciones solares pasivas, termobombas de alta eficiencia para la calefacción y enfriamiento, cristalería de ventanas adaptable, electrodomésticos de alta eficiencia que emitan menos calor de desecho e instalaciones que incluyan el aumento del aislamiento, optimizadas para climas específicos y a prueba de tormentas. La planificación urbana adecuada, incluido el aumento de las áreas verdes así como techos frescos en las ciudades, es una manera eficaz probada de reducir el efecto «isla de calor» y, por tanto, disminuye las necesidades de enfriamiento y la probabilidad de incendios urbanos. En la actualidad, a menudo se incorpora el bienestar adaptable en los aspectos del diseño, donde los inquilinos aceptan temperaturas interiores (de bienestar) más altas cuando la temperatura exterior es alta. (*acuerdo alto, pruebas medianas*) [6.5].

Eficacia de las políticas que reducen las emisiones de CO₂ derivadas del uso energético en edificios y experiencia con las mismas

El logro de tales reducciones de emisiones en el año 2020 requiere el rápido diseño, implementación y aplicación de políticas fuertes que promuevan la eficiencia energética en edificios y equipos, la energía renovable (donde sea rentable) y técnicas de diseño avanzadas en los edificios nuevos (*acuerdo alto, pruebas abundantes*) [6.5].

Sin embargo, se necesita vencer las barreras existentes a fin de lograr el alto potencial de mitigación negativo y de bajo coste indicado. Estas barreras incluyen costes ocultos, desajustes entre los incentivos y beneficios (por ejemplo, entre propietarios e inquilinos), restricciones en el acceso a la financiación, subvenciones a los precios de la energía, así como la fragmentación de la industria y el proceso de diseño. Estas barreras son más fuertes y diversas en los sectores residenciales y comerciales y, por tanto, solamente se pueden vencer mediante una carpeta de instrumentos políticos combinada con una aplicación apropiada (*acuerdo alto, pruebas medianas*).

En muchos países, una amplia gama de políticas ha mostrado su eficacia para reducir las emisiones de GEI de los edificios. La Tabla RT.8 resume los instrumentos políticos claves aplicados y los compara de acuerdo con la eficacia del instrumento político, basado en las mejores prácticas seleccionados. La mayoría de los instrumentos revisados pueden lograr ahorros importantes de energía y CO₂. En una revisión de 60 evaluaciones de políticas de aproximadamente 30 países, las reducciones más altas de emisiones de CO₂ se lograron mediante códigos de construcción, normas de electrodomésticos y políticas de exención de impuestos. Entre las herramientas políticas más rentables se encontraron las normas de electrodomésticos, los compromisos y cuotas de eficiencia energética, los programas de gestión de demanda y la rotulación obligatoria. Las subvenciones y los impuestos sobre la energía o carbono fueron los instrumentos menos rentables. Los programas de información también son rentables, especialmente cuando acompañan a otras medidas políticas (*acuerdo mediano, pruebas medianas*) [6.8].

Las políticas y medidas para reducir las fugas o fomentar la no utilización de refrigerantes que contengan flúor pueden reducir considerablemente las emisiones de gases-F en los años futuros (*acuerdo alto, pruebas medianas*) [6.8.4].

Tabla RT.8: Impacto y eficacia de los instrumentos políticos seleccionados para mitigar las emisiones de GEI en el sector de edificios mediante el uso de mejores prácticas [Tabla 6.6].

Instrumento Político	Eficacia de la reducción de emisiones ^a	Rentabilidad ^b	Condiciones especiales para éxitos, fuerzas y limitaciones importantes, beneficios conjuntos
Normas de electrodomésticos	Alta	Alta	Factores de éxito: actualización periódica de normas, control independiente, información, comunicación y educación.
Códigos de construcción	Alta	Media	No hay incentivos para mejoras, Sólo es eficaz si se aplican.
Programas públicos de dirección, obtención de regulaciones	Alta	Alta/Media	Se pueden usar con eficacia para demostrar las nuevas tecnologías y prácticas. Los programas obligatorios tienen un potencial más alto que los voluntarios. Factor de éxito: rotulado y comprobación de eficiencia energética.
Obligaciones y cuotas de eficiencia energética	Alta	Alta	Necesidad de mejoras continuas: nuevas medidas de EE, incentivos a corto plazo para transformar mercados, etc.
Programas de gestión de demanda	Alta	Alta	Es más rentable para el sector comercial que para el residencial.
Desempeño energético en la contratación/apoyo de las COSE^c	Alta	Media	Fuerza: no existe la necesidad de gastos públicos o intervención del mercado, rentabilidad de la competitividad mejorada.
Esquemas de certificación de eficiencia energética	Media	Media	No existe experiencia a largo plazo. Los costes de transacción pueden ser altos. Se necesitan estructuras institucionales. Profunda interacción con las políticas existentes. Beneficios de empleo.
Mecanismos flexibles de Protocolo de Kyoto^d	Baja	Baja	Hasta el momento cantidad reducida de proyectos de MDL & EC en edificios.
Impuestos (sobre el CO₂ o combustibles)	Baja	Baja	Los efectos dependen de la fluctuación de los precios. Los ingresos se pueden señalar como eficacias futuras, Más eficaz cuando se combina con otras herramientas.
Exención/reducción de impuestos	Alta	Alta	Si se estructura apropiadamente, estimula la introducción de equipos altamente eficaces y edificios nuevos.
Subsidios de capital, subvenciones, préstamos subsidiados	Alta	Baja	Positivos para familias de renta baja, el riesgo de agentes libres puede abrir el camino de las inversiones.
Programas de certificación y rotulado	Media/Alta	Alta	Los programas obligatorios son más eficaces que los voluntarios. La eficacia se puede lograr mediante la combinación con otros instrumentos y actualizaciones regulares.
Acuerdos voluntarios y negociados	Media/Alta	Media	Pueden ser eficaces cuando es difícil poner en vigor las regulaciones. Eficaces si se combinan con incentivos financieros y amenazas de regulación.
Programas educativos e informativos	Baja/Media	Alta	Mayor aplicación en el sector residencial que en el comercial. Condición de éxito: mejor aplicación cuando se combina con otras medidas.
Auditorías obligatorias y necesidades de gestión de energía	Alta pero variable	Media	Más eficaces si recombinan con otras medidas tales como los incentivos financieros.
Facturas detalladas y programas de declaración	Media	Media	Condiciones de éxito: combinación con otras medidas y evaluaciones periódicas.

Notas:

- a) Incluye facilidad de ejecución; viabilidad y sencillez de la puesta en práctica; aplicación en muchas localidades y otros factores que contribuyen a la magnitud total de los ahorros alcanzados.
- b) La rentabilidad se asocia el coste social específico por emisiones de carbono evitadas.
- c) Compañías de servicios energéticos.
- d) Ejecución conjunta, Mecanismo de Desarrollo Limpio, Comercio Internacional de Emisiones (incluido el Esquema de Inversiones Verdes).

Hasta el momento, el impacto general limitado de las políticas se debe a varios factores: 1) procesos de implementación lentos; 2) la falta de actualización regular de los códigos de construcción (las necesidades de muchas políticas a menudo se vinculan con las prácticas habituales, a pesar de que ya es posible la construcción con niveles neutrales de CO₂ sin grandes sacrificios financieros) y normas y rotulado de electrodomésticos; 3) financiación insuficiente; 4) puesta en práctica insuficiente. En los países en desarrollo y economías

en transición, la falta de implementación concreta unida a la inexistencia o insuficiencia de mecanismos de aplicación compromete la implementación de políticas de eficiencia energética. La divulgación de medidas de reducción de GEI para las estructuras de los edificios existentes constituye otro reto debido a los largos períodos de tiempo entre los arreglos regulares en los edificios y la lenta rotación de edificios en los países desarrollados (*acuerdo alto, pruebas abundantes*) [6.8].

Beneficios conjuntos y vínculos con el desarrollo sostenible

La eficiencia energética y el uso de energía renovable en los edificios ofrecen sinergia entre el desarrollo sostenible y la reducción de los GEI. Las más importantes para los países menos desarrollados son estufas de cocción más seguras y eficientes que, en tanto reducen las emisiones de GEI, disminuyen considerablemente la mortalidad y morbilidad al reducir la contaminación del aire interior. Las estufas de cocción más seguras y eficientes también reducen la carga de trabajo de mujeres y niños que habitualmente buscan el combustible para las estufas tradicionales y disminuyen la demanda de recursos naturales escasos. La reducción de la contaminación del aire exterior representa otro beneficio conjunto considerable.

En general, en países desarrollados y en desarrollo, las mejoras de la eficiencia energética en edificios y el uso eficaz y limpio de los recursos de energía renovable disponibles localmente traen como resultado:

- ahorros importantes en las inversiones relativas a la energía, ya que la eficiencia es menos costosa que los suministros nuevos;
- liberación de fondos para otros fines, tales como inversiones en infraestructura;
- mejoras en la fiabilidad de los sistemas y seguridad energética;
- aumento del acceso a los servicios energéticos;
- reducción de la pobreza de combustible;
- mejoras en la calidad del entorno local;
- efectos positivos para el empleo, mediante la creación de nuevas oportunidades para empresas y mediante los efectos multiplicadores de emplear en otras funciones el dinero que se ahorró en la energía.

Existen pruebas de que los edificios con un buen diseño de eficiencia energética a menudo promueven la productividad y salud de los inquilinos (*acuerdo alto, pruebas medianas*) [6.9].

El apoyo de los países industrializados en el desarrollo e implementación de políticas que aumenten la eficiencia energética de los edificios y equipos en los países en desarrollo y economías en transición puede contribuir considerablemente a la disminución del crecimiento de las emisiones de CO₂ y mejorar el bienestar de la población. Si dedicamos la ayuda internacional u otros fondos públicos y privados destinados al desarrollo sostenible a la eficiencia energética e iniciativas de energía renovable en edificios, se pueden lograr un gran número de objetivos de desarrollo y resultaría en impactos de larga duración. La transferencia de conocimientos, experiencia y know-how de países desarrollados hacia países en desarrollo puede facilitar la adopción de iluminación fotovoltaica (FV), incluida la iluminación FV basada en diodos (LED), materiales de edificación con alto nivel de aislamiento, electrodomésticos e iluminaciones eficientes, diseño integrado, sistemas de gestión de energía en los edificios y enfriamiento solar. Sin embargo, se necesitará además financiación de capital [6.8.3].

Investigación, desarrollo, implementación, difusión y transferencia de tecnologías

Aunque existen en la actualidad muchas tecnologías prácticas y rentables, se necesita investigación y desarrollo en áreas como: sistemas de control de alto rendimiento¹⁶; sistemas avanzados para cristales de ventanas; materiales nuevos para paneles aislantes; varios sistemas para utilizar fuentes pasivas y renovables de energía; materiales de cambio de fase para aumentar el almacenamiento térmico; termobombas de alto funcionamiento reversibles con el suelo como fuente de calor; electrodomésticos integrados y otros equipos que usen los desechos térmicos; nuevas tecnologías de enfriamiento y el uso de redes de la comunidad para suministrar calefacción, aire acondicionado y electricidad a los edificios. La demostración de estas tecnologías y sistemas y la capacitación de los profesionales constituyen pasos necesarios para introducir estas tecnologías en el mercado [6.8.3].

Perspectiva a largo plazo

Se necesita comenzar rápido la reducción a largo plazo de los GEI en los edificios debido al lento rotación del parque de edificios. A fin de lograr ahorros a gran escala en los nuevos edificios a largo plazo, se necesita enseñar, diseminar y poner en práctica a gran escala nuevos enfoques de diseño y operación integrada de edificios lo más rápido posible. La mayoría de los profesionales no disponen de capacitación en la industria de la construcción. Debido a la función importante de las oportunidades no tecnológicas en edificios, una reducción ambiciosa de GEI puede requerir un cambio cultural hacia una sociedad que adopte como valores principales la protección climática y el desarrollo sostenible, que conduzca a una presión social sobre la construcción y uso de edificios con disminución de huellas en el entorno (*acuerdo alto, pruebas medianas*) [6.4.1, 6.8.1].

7. Sector industrial

Estado del sector, tendencias de desarrollo e implicaciones

Las industrias con intenso consumo energético, hierro y acero, metales no ferrosos, productos químicos y fertilizantes, refinería de petróleo, cemento, y pulpa y papel, representan aproximadamente el 85% del consumo energético del sector industrial en la mayoría de los países. Debido al rápido aumento del uso energético en otros sectores, la porción del sector industrial en el uso mundial de energía primaria disminuyó del 40% en 1971 al 37% en el año 2004 [7.1.3].

En la actualidad, la mayoría de las industrias con intenso consumo energético se ubican en países en desarrollo. En general, en el año 2003, los países en desarrollo contaban con el 42% de la producción mundial de acero, el 57% de la producción

¹⁶ Los sistemas avanzados de control deben permitir la integración de todas las funciones de los servicios energéticos en el diseño y operación de los edificios comerciales («control inteligente»).

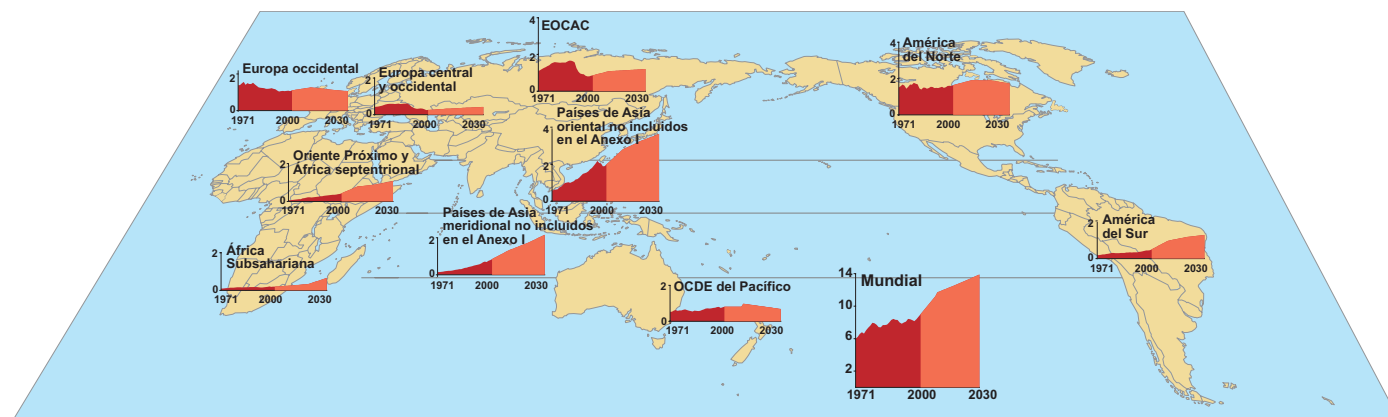


Gráfico RT.18: Emisiones de CO₂ del sector industrial (GtCO₂; incluido el uso de electricidad), 1971-2030. [Tabla 7.1, 7.2].

Nota: Rojo oscuro-emisiones históricas; rojo claro-proyecciones según el escenario IE-EE B2; Datos seleccionados de Price et al. (2006), el Capítulo 7 no presenta los años intermedios. EOCAC=países de Europa oriental, Cáucaso y Asia central.

mundial de fertilizantes de nitrógeno, el 78% de la producción mundial de cemento y aproximadamente el 50% de la producción mundial de aluminio. En el año 2004, los países en desarrollo eran responsables del 46% del uso industrial de energía final, los países desarrollados del 43% y las economías en transición del 11%. La mayoría de las fábricas (industrias de aluminio, cemento y fertilizantes) en las naciones en desarrollo son nuevas y cuentan con tecnologías de última generación con un bajo uso de energía específica. Sin embargo, todavía existen fábricas ineficientes al igual que en los países industrializados. Esto provoca una gran necesidad de inversión en los países en desarrollo a fin de mejorar la eficiencia energética y lograr la reducción de emisiones. Se prevé que continúe el crecimiento pronunciado de las industrias con intenso consumo energético durante el siglo XX a medida que aumenta la población y el PIB [7.1.2; 7.1.3].

Si bien la producción a gran escala predomina en estas industrias con intenso consumo energético a escala mundial, las pequeñas y medianas empresas (PYME) representan una parte importante en los países en desarrollo. Mientras la competencia internacional y las regulaciones están fomentando que las grandes industrias se desplacen hacia el uso de tecnología segura para el medio ambiente, es probable que las PYME no tengan la capacidad técnica o económica para instalar los equipos de control necesarios o sean más lentas en la innovación. Estas limitaciones de las PYME crean retos especiales en los esfuerzos para mitigar las emisiones de GEI (*acuerdo alto, pruebas abundantes*) [7.1.1].

Tendencias de emisión (mundiales y regionales)

En la actualidad, las emisiones directas de GEI derivadas de la industria son de aproximadamente 7,2 GtCO₂-eq. Si bien las opciones de mitigación analizadas en este capítulo incluyen medidas para reducir el uso industrial de electricidad, las emisiones, incluidas las derivadas de la electricidad, son importantes para establecer comparaciones. Las emisiones totales de GEI del sector industrial fueron de aproximadamente 12 GtCO₂-eq en el año 2004, aproximadamente el 25% del total mundial. Las emisiones de CO₂ (incluido el uso de electricidad)

del sector industrial crecieron de 6,0 GtCO₂ en 1971 a 9,9 GtCO₂ en el año 2004. En el año 2004, las naciones desarrolladas fueron responsables del 35% del total de emisiones relativas a la energía, las economías en transición del 11% y las naciones desarrolladas del 53% (véase el Gráfico RT.18). La industria también emite CO₂ de usos no energéticos de fuentes de combustibles fósiles y no fósiles. En el año 2000, se estimó un total de 1,7 GtCO₂ (*acuerdo alto, pruebas abundantes*) [7.1.3].

Los procesos industriales también emiten otros GEI, incluido el HFC-23 a partir de la producción de HCFC-22; los CPF de la fundición del aluminio y procesamiento de semiconductores; SF₆ del uso en paneles de pantallas planas (monitores de cristal líquido) y semiconductores, fundición de magnesio, equipos eléctricos, fundición de aluminio y otras, y CH₄ y N₂O de fuentes de industrias químicas y corrientes de desecho de la industria alimentaria. El total de las emisiones derivadas de estas fuentes fue de aproximadamente 0.4 GtCO₂-eq en el año 2000 (*acuerdo mediano, pruebas medianas*) [7.1.3].

Tabla RT.9: Emisiones de GEI exentas de CO₂ del sector industrial proyectadas, MtCO₂-eq/año [Tabla 7.3].

Región	1990	2000	2010	2030
OCDE del Pacífico	38	53	47	49
América del Norte	147	117	96	147
Europa occidental	159	96	92	109
Europa central y oriental	31	21	22	27
EOCAC	37	20	21	26
Países en desarrollo asiáticos	34	91	118	230
América Latina	17	18	21	38
África Subsahariana	6	10	11	21
Medio Oriente y África del Norte	2	3	10	20
Mundo	470	428	438	668

Nota:

Se incluyen las emisiones de equipos de refrigeración utilizados en procesos industriales; se excluyen las emisiones derivadas de otras aplicaciones de la refrigeración y los aires acondicionados. EOCAC = países de Europa oriental, Cáucaso y Asia central.

Tabla RT.10: Ejemplos de tecnologías industriales para reducir las emisiones de GEI (incompletas). Las tecnologías en desarrollo o en fase demostrativa se denotan en letra cursiva [Tabla 7.5]

Sector	Eficiencia energética	Cambio de combustible	Recuperación energética	Energía renovable	Cambio de fuente de alimentación	Cambio de producto	Eficacia de los materiales	GEI exentos de CO ₂	Captura y almacenamiento de CO ₂
Amplitud del sector	Referencia: sistemas de gestión energética; sistemas de motores eficientes, calderas, hornos, iluminación y calefacción/ventilación/aire acondicionado: Integración de procesos	De carbón a gas natural y petróleo	Cogeneración	Biomasa, Biogás, FV, turbinas de viento e hidroeléctricas	Consumo reciclado				Combustión de oxi-combustibles, separación del CO ₂ de los gases de combustión
Hierro y acero	Reducción de la fusión, precalentamiento de la chatarra, apagado del coque en seco	Gas natural, inyección de petróleo o plástico en los BC	Recuperación de la presión más alta de gas, ciclo combinado de subproductos del gas	Carbón vegetal	Chatarra	Acero de gran dureza	Reciclaje, acero de gran dureza, reducción de las pérdidas del proceso	no disponible	Reducción del hidrógeno, uso de oxígeno en los altos hornos
Metales no ferrosos	Ánodos inertes, diseños eficientes de células				Chatarra		Reciclaje, película y capa más fina	Controles de CPF/SF ₆	
Productos químicos	Separación de membranas, destilación reactiva	Gas natural	Turbinas de gas previamente acopladas, turbinas de recuperación de presión, recuperación de H ₂		Reciclaje de plásticos, fuentes biológicas de alimentación	Poliétileno de baja densidad lineal, alta-perf. Plásticos	Reciclaje, película y capa más fina, reducción de las pérdidas del proceso	Controles de N ₂ O, CPF, CFC y HFC	Almacenamiento de CO ₂ derivado de procesos de amoníaco y óxido de etileno
Refinamiento de petróleo	Separación de membrana del gas refinado	Gas natural	Turbinas de recuperación de presión, recuperación de hidrógeno	Biocombustibles	Fuentes biológicas de alimentación		(no se incluye la disminución en el transporte)	Control tecnológico para N ₂ O/CH ₄	Derivado de la producción de hidrógeno
Cemento	Horno precalcinador, molino de rodillo, <i>horno paralelo de fluido</i>	Combustibles de desecho, biogás, biomasa	Secado con turbina de gas, recuperación de energía	Combustibles de biomasa, biogás	Escoria, puzolana	Cemento mezclado, geopolímeros		no disponible	Combustión de oxicom-bustibles en hornos
Vidrio	Pre calentamiento del vidrio de desecho, hornos de oxicom-bustibles	Gas natural	<i>Ciclo bottoming de aire</i>	no disponible	Aumento del uso de desechos de vidrios	Recipientes delgados de más dureza	Reciclaje	no disponible	Combustión de oxicom-bustibles
Pulpa y papel	Pulpas eficientes, secado eficiente, prensa de zapata, secador de bandas	Biomasa, gas de vertederos	<i>Ciclo combinado de gasificación de licor negro</i>	Combustibles de biomasa (corteza, licor negro)	Reciclaje, fibras que no pertenecen a la madera	Orientación de la fibra, papel más fino	Reducción de cortes y pérdidas del proceso	no disponible	Combustión de oxicom-bustibles en hornos de cal
Alimentos	Secado eficiente, membranas	Biogás, gas natural	Digestión anaerobia, gasificación	Biomasa, subproductos, secado solar			Reducción de pérdidas del proceso, uso del agua cerrado		

Las proyecciones para las emisiones industriales de CO₂ para el año 2030 bajo los escenarios IE-EE B2² son de aproximadamente 14 GtCO₂ (incluido el uso de electricidad) (véase el Gráfico RT.18). Se prevén para los países en desarrollo las mayores tasas de crecimiento promedio de emisiones de CO₂ en el sector industrial. Se prevé una disminución del crecimiento en regiones de Europa central y del este, el Cáucaso y Asia central y los países en desarrollo asiáticos en ambos escenarios para el período 2000-2030. Se prevé un declive de las emisiones de CO₂ en los países de la OCDE y regiones de América del Norte y Europa occidental para el escenario B2 después del año 2010. En el año 2030, se prevé que aumenten a escala mundial las emisiones de GEI exentas de CO₂ derivadas del sector industrial en un factor de 1,4, de 470 MtCO₂-eq (130 MtC-eq) en 1990 a 670 MtCO₂-eq (180 MtC-eq) en 2030, si se asume que no se actúa para controlar estas emisiones. Los esfuerzos de mitigación provocaron una disminución de las emisiones de GEI exentas de CO₂ entre 1990 y 2000 y se hay muchos programas para el control adicional en camino (véase la Tabla RT.9) (*acuerdo alto, pruebas medianas*) [7.1.3].

Descripción y evaluación de las tecnologías y prácticas, opciones y potenciales, costes y sostenibilidad de la mitigación

Históricamente, el sector industrial ha logrado reducciones en la intensidad energética e intensidad de emisiones mediante la adopción tecnologías de eficiencia energética y específicas de mitigación, principalmente en las industrias con intenso consumo energético. La industria del aluminio indicó >70% de reducción de la intensidad de emisiones de CPF durante el período de 1990–2004 y la industria del amoníaco indicó que las plantas diseñadas en el año 2004 mostraron una reducción de la intensidad energética del 50% en comparación con las plantas diseñadas en 1960. La modernización a escala mundial de las fábricas de amoníaco mejorará aún más la eficiencia energética. También se indican disminuciones en la intensidad energética de las refinerías [7.4.2, 7.4.3, 7.4.4].

La baja capacidad técnica y económica de las PYME representan retos para difundir las tecnologías seguras para el medio ambiente, aunque se está desarrollando cierto I+D innovador en las PYME.

Una amplia gama de medidas y tecnologías tienen potencial para disminuir las emisiones industriales de GEI. Estas tecnologías se pueden agrupar en las categorías de eficiencia energética, cambio de combustible, recuperación de energía, energía renovable, cambio de fuentes de alimentación, cambio de producto y eficacia de los materiales (Tabla RT.10). Dentro de cada categoría, algunas tecnologías, como el uso de motores eléctricos más eficientes, se pueden aplicar en todas las industrias, mientras otras, como la recuperación de la presión máxima de gas en los hornos de sople, son más específicas de proceso.

A finales del período hasta el 2030, existirá un potencial adicional importante procedentes de mejoras futuras de la eficiencia energética y aplicaciones de la Captura y Almacenamiento de Carbono (CAC)¹⁷ y las tecnologías de procesos sin GEI. Ejemplos de tales tecnologías que se encuentran ya en la fase de I+D incluyen electrodos inertes para la producción de aluminio e hidrógeno para la producción de metales (*acuerdo alto, pruebas abundantes*) [7.2, 7.3, 7.4].

Los potenciales y costes de mitigación en el año 2030 se han estimado mediante una evaluación industria por industria de las industrias con consumo intenso de energía y una evaluación general del resto de otras industrias. El enfoque produjo potenciales de mitigación de aproximadamente 1,1 GtCO₂-eq a un coste de < 20 USD/tCO₂ (74 USD/tC-eq); aproximadamente 3,5 GtCO₂-eq a un coste de < 50 USD/tCO₂ (180 USD/tC-eq); y aproximadamente 4 GtCO₂-eq/año (0,60–1,4 GtC-eq/año) a un coste de <USD 100/tCO₂-eq (<USD 370/tC-eq) en el escenario B2. Las industrias del acero, el cemento y la pulpa y el papel, y el control de los gases exentos de CO₂ tienen los mayores potenciales de mitigación, y la mayor parte del potencial se puede alcanzar a <50 USD/tCO₂-eq (<USD 180/tC-eq). La aplicación de la tecnología de CAC ofrece un gran potencial adicional, aunque a un coste más elevado.

Un estudio mundial completado recientemente de nueve grupos de tecnologías indica un potencial de mitigación para el sector industrial de 2,5–3,0 GtCO₂-eq/año (0,68–0,82 GtC-eq/año) en el año 2030 a un coste de <25 USD/tCO₂ (<92 USD/tC) (2004 USD). El potencial de mitigación estimado se encuentra dentro del rango hallado en esta evaluación, mientras que el coste de mitigación estimado es considerablemente más bajo (*acuerdo mediano, pruebas medianas*) [7.5].

Interacción de las opciones de mitigación con la vulnerabilidad y adaptación

Los vínculos entre la adaptación y mitigación en el sector industrial son reducidos. Muchas opciones de mitigación (por ejemplo, eficiencia energética, recuperación térmica y energética, reciclaje) no son vulnerables al cambio climático y, por tanto, no crean vínculos de adaptación. Otras, como el cambio de combustibles o de fuentes de alimentación (por ejemplo, a biomasa u otras fuentes de energía renovable) pueden ser vulnerables al cambio climático [7.8].

Eficacia de las políticas climáticas y experiencia con las mismas, potenciales, barreras y oportunidades / problemas de implementación

Los países industrializados o en desarrollo no están utilizando el total de las opciones de mitigación disponibles. En muchas zonas del mundo, las regulaciones gubernamentales o del mercado no demandan la mitigación de GEI. En estas áreas, las empresas invertirán en la mitigación de GEI en la medida en que otros factores suministren un retorno por sus inversiones.

17 Véase el Informe Especial del IPCC sobre Captura y Almacenamiento de CO₂

Este retorno puede ser económico; por ejemplo, proyectos de eficiencia energética que brinden una retribución económica o en términos de lograr mayores metas corporativas, por ejemplo, un compromiso con el desarrollo sostenible. El potencial económico, como se describe anteriormente, solamente se logrará si se ponen en práctica políticas y regulaciones. Un aspecto importante lo constituye que, como se ha indicado anteriormente, la mayoría de las industrias con consumo intenso de energía se ubican en países en desarrollo. La baja tasa de rotación del capital social constituye también una barrera para muchas industrias, así como la falta de recursos financieros y técnicos necesarios a la hora de implementar las opciones de mitigación y los límites en la capacidad de las firmas industriales, especialmente medianas y pequeñas empresas, para acceder y absorber información sobre las opciones disponibles (*acuerdo alto, pruebas abundantes*) [7.9.1].

Desde principios del decenio de 1990 se han utilizado acuerdos voluntarios entre la industria y el gobierno para disminuir el uso energético y las emisiones de GEI. Los acuerdos bien diseñados, que definen objetivos prácticos y cuentan con suficiente apoyo gubernamental, a menudo como parte de un paquete más amplio de medidas medioambientales, y una amenaza real de aumento de las regulaciones gubernamentales o impuestos sobre energía/GEI si no se logran los objetivos, pueden suministrar más ahorros energéticos o reducciones de emisiones que los métodos tradicionales. Algunos acuerdos han acelerado la aplicación de las mejores tecnologías disponibles y producido disminuciones de emisiones en comparación con la línea de base, principalmente en países con una tradición de estrecha colaboración entre el gobierno y la industria. Sin embargo, la mayoría de los acuerdos voluntarios no han logrado una disminución significativa de las emisiones respecto a las prácticas habituales. Las empresas, gobiernos regionales, organizaciones no gubernamentales (ONG) y grupos civiles están adoptando una amplia variedad de acciones voluntarias, independientemente de las autoridades gubernamentales, que pueden reducir las emisiones de GEI, estimular las políticas innovadoras y alentar el desarrollo de nuevas tecnologías. Sin embargo, estas acciones por sí solas generalmente tienen un impacto limitado.

Las políticas que disminuyen las barreras para adoptar tecnologías rentables y de bajas emisiones de GEI (por ejemplo, falta de información, ausencia de normas y falta de disponibilidad de financiación para la compra inicial de tecnología moderna) pueden ser eficaces. Muchos países, desarrollados y en desarrollo, tienen esquemas financieros disponibles para promover el ahorro energético en la industria. Según un estudio del Consejo de Energía Mundial, 28 países suministran algún tipo de subvención o subsidio para proyectos de eficiencia energética. A menudo se utilizan medidas fiscales para estimular los ahorros de energía en la industria. Sin embargo, un inconveniente de los incentivos financieros es que a menudo los utilizan inversores que habrían hecho la inversión sin incentivos. La restricción de esquemas en grupos de objetivos y/o técnicas específicos (selección de listas de equipos, sólo tecnologías innovadoras) o el uso de criterios directos de rentabilidad son posibles soluciones para mejorar la rentabilidad [7.9.3].

Existen o se están desarrollando muchos sistemas de comercio con emisiones de CO₂ a escala nacional, regional o sectorial. Estos sistemas comerciales se pueden mejorar mediante pruebas que muestren que, en algunas cuestiones importantes, los participantes del sector industrial hacen frente a situaciones significativamente diferentes que los del sector eléctrico. Por ejemplo, las respuestas al precio de las emisiones de carbono en el sector industrial tienden a ser menores debido a la más reducida carpeta de tecnologías y la ausencia de posibilidades de cambio de combustible a corto plazo. Esto provoca que los mecanismos predecibles de distribución y las señales estables de precios sean más importantes para la industria [7.9.4].

Según el TAR, las empresas industriales de todos los tamaños son vulnerables a los cambios de políticas gubernamentales y preferencias del consumidor. Esto justifica la importancia de un régimen estable de políticas para la industria (*acuerdo alto, pruebas abundantes*) [7.9].

Políticas integradas y no climáticas que afectan las emisiones de gases de efecto invernadero

Las políticas centradas en el equilibrio de la seguridad energética, la protección del medio ambiente y el desarrollo económico pueden tener un impacto positivo o negativo sobre la mitigación. Las políticas de desarrollo sostenible centradas en la eficiencia energética, la desmaterialización y el uso de energía renovable apoyan los objetivos de mitigación de GEI. Las políticas de gestión de desechos reducen las emisiones de GEI del sector industrial al disminuir el uso energético mediante la reutilización de productos. Las medidas de reducción de la contaminación del aire pueden tener sinergia con la reducción de las emisiones de GEI cuando se logra la reducción al cambiar a combustibles con bajo contenido de carbono. Sin embargo, no siempre logran la reducción de emisiones de GEI, ya que muchas necesitan el uso de energía adicional.

Para alcanzar un desarrollo sostenible, además de implementar las opciones de mitigación referidas anteriormente, se necesitarán vías de desarrollo industrial que minimicen la necesidad de mitigación futura (*acuerdo alto, pruebas medianas*). Las grandes empresas tienen más recursos y, generalmente más incentivos, para incluir consideraciones sociales y del medio ambiente en sus operaciones que las pequeñas y medianas empresas (PYME), pero las PYME suministran el grueso del empleo y de la capacidad de producción en muchos países. La integración de las estrategias de desarrollo de las PYME en estrategias nacionales de desarrollo más amplias se corresponde con los objetivos del desarrollo sostenible. En la actualidad, las industrias con consumo intenso de energía se están comprometiendo con una serie de medidas dirigidas al desarrollo del capital humano, a la salud y seguridad, el desarrollo de la comunidad, etc., que se corresponden con el objetivo de la responsabilidad social de las empresas (*acuerdo alto, pruebas abundantes*) [7.7; 7.8].

Beneficios conjuntos de las políticas de mitigación de gases de efecto invernadero

Los beneficios conjuntos de la mitigación de GEI industrial incluye: disminución de las emisiones de contaminantes del aire y desechos (que, a su vez, reducen los costes de cumplimiento medioambiental y de eliminación de desechos), aumento de la calidad de la producción y del producto, disminución de costes operativos y de mantenimiento, mejoras en el entorno de trabajo y otros beneficios tales como la disminución de la responsabilidad, una mejor imagen pública y moral de los trabajadores o el retraso o la reducción de los gastos de capital. La reducción del uso energético puede contribuir indirectamente a la disminución de los impactos en la salud de los contaminantes del aire, especialmente donde no existen regulaciones sobre la contaminación del aire (*acuerdo alto, pruebas abundantes*) [7.10].

Investigación, desarrollo, aplicación, difusión y transferencia tecnológica

La tecnología industrial disponible en el mercado proporciona un gran potencial para disminuir las emisiones de GEI. Sin embargo, aún si se aplica esta tecnología, muchos procesos industriales necesitarían aún así mucha más energía que el ideal termodinámico, lo que surge un potencial adicional amplio para la mejora de eficiencia energética y el potencial de mitigación de GEI. Además, algunos procesos industriales emiten GEI que son independientes del uso de calor y electricidad. En la actualidad no existen tecnologías comerciales para eliminar estas emisiones de algunos de estos procesos, por ejemplo, el desarrollo de un electrodo inerte para eliminar las emisiones del proceso de producción de aluminio y el uso del hidrógeno para reducir los minerales del hierro y de metales no ferrosos. Estas nuevas tecnologías también deben satisfacer otros criterios como la competitividad de costes, requisitos de regulación y seguridad, así como ganarse la aceptación de los consumidores. Los gobiernos y empresas investigan, desarrollan, aplican y difunden la tecnología industrial, de manera ideal mediante funciones complementarias. Debido a los grandes riesgos económicos inherentes a las tecnologías con mitigación de las emisiones de GEI como objetivo principal, es probable que se necesiten programas gubernamentales a fin de facilitar un nivel adecuado de investigación y desarrollo. Los gobiernos deben identificar los obstáculos principales para la tecnología y hallar soluciones para superarlos, pero las empresas deben asumir los riesgos y capturar las recompensas de la comercialización.

Además, la información gubernamental, auditorías de energía, informes y programas de referencia promueven la transferencia y difusión de tecnologías. Los factores claves que determinan la aplicación y difusión tecnológica en el sector privado son: ventaja competitiva, aceptación del consumidor, características específicas de cada país, protección de los derechos de propiedad intelectual y marcos reguladores (*acuerdo mediano, pruebas medianas*) [7.11].

Perspectiva a largo plazo

Muchas tecnologías ofrecen un potencial de mitigación a largo plazo para las emisiones industriales de GEI, pero los intereses se centran en tres áreas: procesamiento biológico, uso de hidrógeno y nanotecnología.

Dada la complejidad del sector industrial, el logro de la disminución de las emisiones de GEI representa la suma de muchas transiciones transversales e individuales del sector. Debido a la velocidad de rotación del capital social en al menos algunas ramas de la industria, puede haber inercia debido a un «bloqueo tecnológico». Entretanto, la actualización proporciona oportunidades, pero los cambios tecnológicos básicos ocurren sólo cuando se asigna o reemplaza el capital social (*acuerdo mediano, pruebas medianas*) [7.12].

8. Sector agrícola

Estado del sector, tendencias futuras de producción y consumo e implicaciones

Los desarrollos tecnológicos han permitido un avance considerable en la producción agrícola por unidad de tierra, lo que ha aumentado la disponibilidad de alimentos per capita a pesar de la disminución sostenida del área de suelo agrícola per capita (*acuerdo alto, pruebas abundantes*). Sin embargo, el desarrollo ha sido desigual a escala mundial. La malnutrición y la pobreza rural permanecen en algunos países. La proporción de productos de origen animal en la dieta ha aumentado progresivamente en los países en desarrollo, mientras se mantiene constante en los países desarrollados (*acuerdo alto, pruebas abundantes*).

La producción de alimentos y fibra ha incrementado su ritmo con un aumento abrupto de la demanda en un mundo más poblado, de manera que aumentó la disponibilidad diaria promedio mundial de calorías per capita, aunque con excepciones regionales. Sin embargo, este crecimiento se ha producido a expensas del aumento de la presión sobre el entorno y la disminución de los recursos naturales y no ha solucionado los problemas de la seguridad de los alimentos y la malnutrición infantil general en los países pobres (*acuerdo alto, pruebas abundantes*).

El área absoluta mundial de tierra cultivable aumentó aproximadamente a 1400 Mha, un aumento total del 8% desde 1960 (disminución del 5% en los países desarrollados y aumento del 22% en los países en desarrollo). Se prevé que esta tendencia continúe en el futuro con la conversión prevista de 500 Mha adicionales para la actividad agrícola desde 1997–2020, principalmente en América Latina y el África Subsahariana (*acuerdo mediano, pruebas limitadas*).

El crecimiento económico y el cambio de los estilos de vida en algunos países en desarrollo están originando un aumento de la demanda de productos cárnicos y lácteos. De 1967–1997,

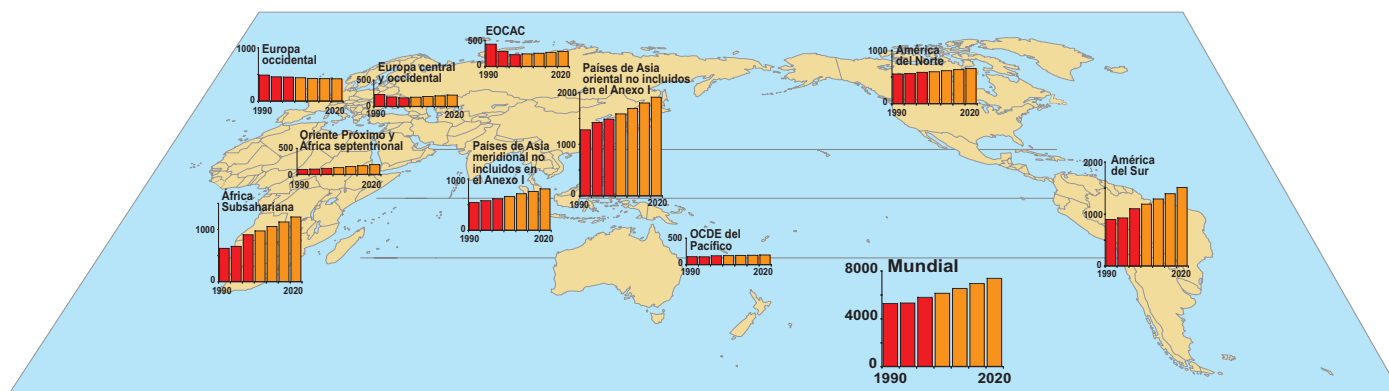


Gráfico RT.19: Emisiones históricas y proyectadas de N₂O y CH₄ en el sector agrícola de diez regiones del mundo, 1990-2020 [Gráfico 8.2].

Nota: EOCAC = Países de Europa Oriental, Cáucaso y Asia central.

aumentó la demanda de carne en los países en desarrollo de 11 a 24kg per cápita al año y resultó en una tasa de crecimiento anual por encima del 5% al final del período. Se prevén aumentos futuros en la demanda de carne (aproximadamente del 60% para el año 2020), la mayoría en regiones en desarrollo tales como en el sur y sudeste de Asia y el África Subsahariana (*acuerdo mediano, pruebas abundantes*) [8.2].

Tendencias de emisiones

Para el año 2005, la agricultura presentó una emisión estimada de 5,1 a 6,1 GtCO₂-eq (el 10-12% del total de las emisiones antropogénicas mundiales de GEI). El CH₄ aportó 3,3 GtCO₂-eq y el N₂O 2,8 GtCO₂-eq. La agricultura aportó, de las emisiones antropogénicas mundiales en el año 2005, aproximadamente el 60% de N₂O y, aproximadamente, el 50% de CH₄ (*acuerdo mediano, pruebas medianas*). A pesar de los grandes intercambios anuales de CO₂ entre la atmósfera y los suelos agrícolas, se estima que el flujo neto se equilibre, con emisiones netas de CO₂ de sólo aproximadamente 0,04 GtCO₂/año (las emisiones derivadas del uso de electricidad y combustibles en la agricultura se evalúan en los sectores de edificios y transporte, respectivamente) (*acuerdo bajo, pruebas limitadas*) [8.3].

Tabla RT.11: Estimaciones del potencial mundial económico de mitigación de GEI de la agricultura (MtCO₂-eq/año) para el año 2030 con diferentes precios del carbono asumidos para la línea de base de un escenario IE-EE B2 [Tabla 8.7].

	Precio del carbono (USD/tCO ₂ -eq)		
	Hasta 20	Hasta 50	Hasta 100
OCDE	330 (60–470)	540 (300–780)	870 (460–1280)
OIE	160 (30–240)	270 (150–390)	440 (230–640)
No pertenecen a OCDE/EIT	1140 (210–1660)	1880 (1040–2740)	3050 (1610–4480)

Nota:

Las cifras entre paréntesis muestran la desviación típica sobre la media estimada, el potencial excluye las medidas de eficiencia energética y las compensaciones de combustible fósil por bioenergía.

Las tendencias en las emisiones de GEI derivados de la agricultura son responsables de cambios mundiales: se prevén aumentos a medida que cambia la dieta y el aumento demográfico incrementa la demanda de alimentos. El cambio climático futuro puede liberar finalmente más carbono del suelo (aunque este efecto es incierto, ya que el cambio climático puede también incrementar los aportes de carbono al suelo mediante el aumento de la producción). Las tecnologías emergentes pueden permitir reducir las emisiones por unidad de alimento producido, pero es probable que aumenten las emisiones absolutas (*acuerdo mediano, pruebas medianas*).

Sin el uso de políticas adicionales, se prevé que las emisiones de N₂O y CH₄ derivadas de la agricultura aumenten en un 35–60% y aproximadamente un 60%, respectivamente, hasta el año 2030. Por tanto, aumentarían más rápido que el incremento del 14% de GEI exentos de CO₂ observado de 1990 a 2005 (*acuerdo mediano, pruebas limitadas*) [8.3.2].

La magnitud de las emisiones y la importancia relativa de las diferentes fuentes varían ampliamente entre las regiones del mundo (Gráfico RT.19). En el año 2005, el grupo de cinco regiones formado principalmente por países no incluidos en el Anexo I, fue responsable del 74% del total de las emisiones agrícolas [8.3].

Tecnologías, prácticas, opciones, potenciales y costes de la mitigación

Si se consideran todos los gases, se estima que los potenciales económicos para la mitigación en la agricultura para el año 2030 asciendan a 1600, 2700 y 4300 MtCO₂-eq/año con precios de carbono de hasta 20, 50 y 100 USD/tCO₂-eq, respectivamente para la línea de base de un escenario IE-EE B2 (véase la Tabla RT.11) (*acuerdo mediano, pruebas limitadas*) [8.4.3].

Las mejoras en la gestión agrícola pueden reducir las emisiones netas de GEI, que a menudo afectan a más de un GEI. La eficacia de estas prácticas depende de factores como el clima, tipo de suelo y sistema de cultivo (*acuerdo alto, pruebas abundantes*).

Aproximadamente el 90% de la mitigación total se deriva de la intensificación de los sumideros (secuestro de C del suelo) y

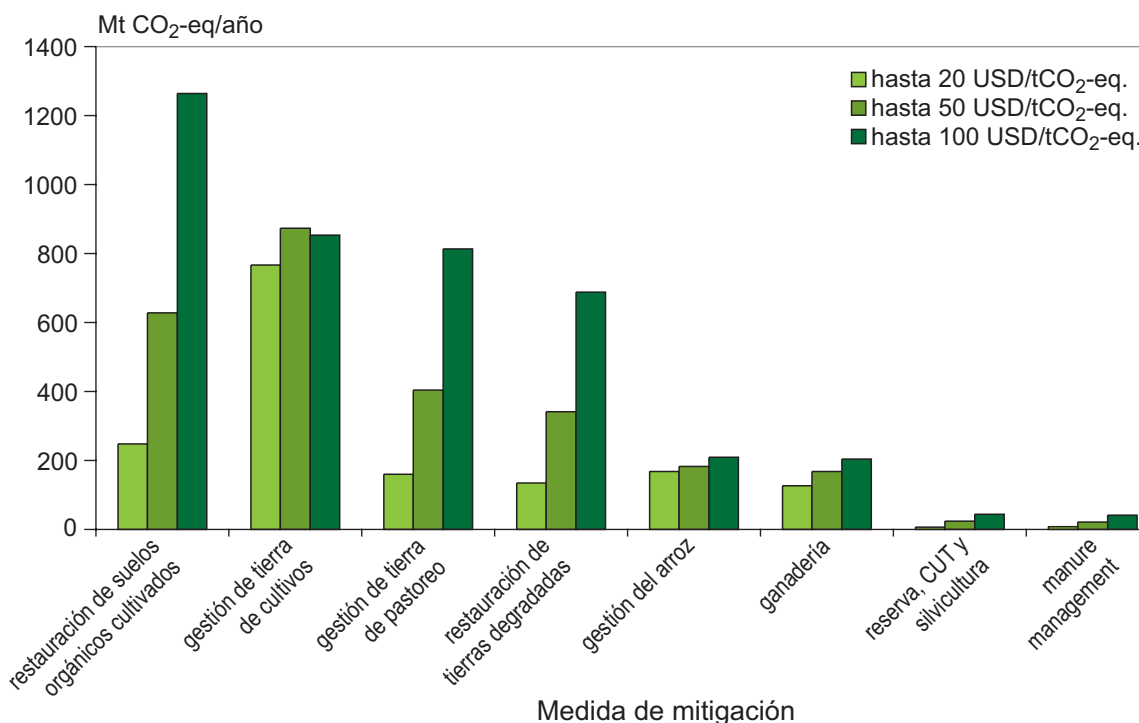


Gráfico RT.20: Potencial de mitigación de GEI derivados de la agricultura en el año 2030 a un rango de precios de carbono para la línea de base de un escenario IE-EE B2 [Gráfico 8.9].

Nota: Se muestra el escenario B2, aunque el patrón es similar para todos los escenarios IE-EE. Las mediadas de eficiencia energética (770 MtCO₂-eq) se incluyen en el potencial de mitigación del sector de edificios y energético).

aproximadamente el 10% de la reducción de emisiones (*acuerdo mediano, pruebas medianas*). Las opciones de mitigación más prominentes en la agricultura (con potenciales mostrados en Mt CO₂-eq/año para precios de carbono de hasta 100 USD/tCO₂-eq para el año 2030) son (véase además Gráfico RT.20):

- renovación de suelos orgánicos cultivados (1260)
- mejora de la gestión de tierras de cultivo (incluida la agronomía, gestión de nutrientes, gestión de cultivos/desechos y gestión hídrica (incluido el drenaje y el regadío) y congelación de tierras de cultivo/agrosilvicultura (1110)
- mejora de la gestión de tierras de pastoreo (incluida la intensidad de pastoreo, aumento de la productividad, gestión de nutrientes, gestión de incendios e introducción de especies (810)
- renovación de tierras degradadas (mediante el uso del control de la erosión, enmiendas orgánicas y enmiendas de nutrientes (690).

Las siguientes opciones proporcionan un potencial de mitigación más bajo, aunque aún así considerable:

- gestión de arroz (210)
- gestión de ganadería (incluidos el perfeccionamiento de prácticas de alimentación, aditivos dietéticos, cría y otros cambios estructurales y el perfeccionamiento de la gestión de estiércol (incluido el almacenamiento y la manipulación y la digestión anaerobia) (260) (*acuerdo mediano, pruebas limitadas*).

Además, la eficiencia energética en la agricultura suministrará 770 MtCO₂-eq/año para el año 2030. Sin embargo, gran parte de esta cifra se incluye en el potencial de mitigación del sector de edificios y transporte [8.1; 8.4].

A precios inferiores de carbono, se favorecen las medidas de bajo coste que más se asemejan a las prácticas actuales (por ejemplo, opciones de gestión de cultivos). Pero a precios más altos del carbono, se favorecen las mediadas más costosas con mayor potencial de mitigación por unidad de área (por ejemplo, renovación de suelos orgánicos/de turba cultivados; Gráfico RT.20) (*acuerdo mediano, pruebas limitadas*) [8.4.3].

Además, se pueden reducir las emisiones mediante la sustitución de combustibles fósiles por la producción de energía derivada de fuentes de alimentación agrícola (por ejemplo, desechos de cultivos, estiércol, cultivos energéticos), que se tienen en cuenta en los sectores energéticos de uso final (especialmente, suministro energético y transporte). No existen estimaciones exactas del suministro futuro de biomasa agrícola. Las cifras oscilan entre 22 EJ/año en el año 2005 a más de 400 EJ/año en el año 2050. El aporte real de la agricultura al potencial de mitigación mediante el uso de bioenergía depende, sin embargo, de los precios relativos del combustible y del equilibrio de la oferta y la demanda. Evaluaciones descendentes que incluyen suposiciones de tal equilibrio estiman que el potencial económico de mitigación de la energía de biomasa suministrada por la agricultura ascenderá a 70–1260 MtCO₂-eq/año hasta 20 USD/tCO₂-eq, y 560–2320 MtCO₂-eq/año hasta 50 USD/tCO₂-eq. No existen estimaciones para el potencial adicional procedentes de modelos descendentes a precios de carbono por encima de 100 USD/tCO₂-eq, pero la estimación para precios por encima de 100 US\$/tCO₂ es 2720 MtCO₂-eq/año. Estos potenciales representan una mitigación del 5–80% y del 20–90% de todas las demás medidas de mitigación

agrícolas combinadas, a precios de carbono de hasta 20 y 50 USD/tCO₂-eq, respectivamente. Por encima del nivel donde los productos y desechos agrícolas forman la única fuente de alimentos, la bioenergía compite con otros usos del territorio por disponibilidad de tierra, agua y otros recursos. Los potenciales de mitigación de la bioenergía y el perfeccionamiento de la eficiencia energética no se incluyen en la Tabla RT.11 o en el gráfico RT.20, ya que el potencial se incluye en los sectores de usuarios, principalmente transporte y edificios, respectivamente (*acuerdo mediano, pruebas medianas*) [8.4.4].

Las estimaciones del potencial de mitigación en el sector agrícola se dirigen hacia las partes bajas del rango que indica el Segundo Informe de Evaluación (SIE) y el TAR. Esto se debe principalmente a las diferentes escalas de tiempo consideradas (2030 en este informe frente a 2050 en el TAR). A medio plazo, la mayoría del potencial de mitigación se obtiene de la eliminación de CO₂ de la atmósfera y su conversión a carbono del suelo, pero la magnitud de este proceso disminuirá a medida que el carbono del suelo alcance los niveles máximos. La mitigación a largo plazo dependerá cada vez más de la reducción de las emisiones de N₂O, CH₄ y CO₂ derivadas del uso energético, cuyos beneficios persistirán por tiempo indefinido (*acuerdo alto, pruebas abundantes*) [8.4.3].

Interacciones de las opciones de mitigación con la vulnerabilidad y adaptación

Las acciones en la agricultura para mitigar los GEI pueden: a) reducir la vulnerabilidad (por ejemplo, si el secuestro de carbono reduce los impactos de las sequías) o b) aumentar la vulnerabilidad (por ejemplo, si la fuerte dependencia de energía de biomasa provoca que el suministro energético sea más sensible a los extremos climáticos). Las políticas para alentar la mitigación y/o adaptación en la agricultura puede que necesiten evaluar estas interacciones (*acuerdo mediano, pruebas limitadas*). De igual modo, las acciones controladas por la adaptación bien pueden a) favorecer la mitigación (por ejemplo, la devolución de los desechos al campo para mejorar la capacidad de retención de agua también secuestrará carbono) o b) impedir la mitigación (por ejemplo, uso de fertilizantes nitrogenados para aumentar cosechas en descenso, lo que conduce al aumento de las emisiones de N₂O). Es probable que las estrategias que simultáneamente aumentan la capacidad de adaptación, reducen la vulnerabilidad y mitigan el cambio climático presenten menos barreras de adopción que aquellas con impactos contradictorios. Por ejemplo, incrementar el contenido de materia orgánica de los suelos puede mejorar la fertilidad y reducir el impacto de sequías, mejorando la capacidad de adaptación y haciendo que la agricultura sea menos vulnerable al cambio climático, a la vez que secuestra carbono (*acuerdo mediano, pruebas medianas*) [8.5].

Eficacia de políticas climáticas: oportunidades, barreras y problemas de implementación

Los niveles reales de prácticas de mitigación de GEI en el sector agrícola se encuentran por debajo del potencial económico

de las medidas mencionadas anteriormente (*acuerdo mediano, pruebas limitadas*). Se ha avanzado poco en la implementación debido a los costes de implementación y otras barreras, incluidas: presión sobre la tierra agrícola, demanda de productos agrícolas, demandas en conflicto de agua, así como otras barreras sociales, institucionales y educativas (*acuerdo mediano, pruebas limitadas*). Por ejemplo, es probable que el secuestro de carbono en el suelo en los cultivos europeos sea insignificante en el año 2010, a pesar del potencial económico significativo. Muchas de estas barreras no se superarán sin el uso de incentivos económicos/políticos (*acuerdo mediano, pruebas limitadas*) [8.6].

Políticas integradas y no climáticas que afectan a las emisiones de gases de efecto invernadero

La adopción de prácticas de mitigación a menudo se deberá en gran medida a objetivos no relacionados directamente con el cambio climático. Esto provoca respuestas de mitigación diferentes entre regiones y contribuye a incertidumbres en las estimaciones del potencial de mitigación mundial futuro. Las políticas más eficaces para reducir las emisiones pueden ser aquellas que también logran otras metas sociales. Algunas políticas de desarrollo rural puestas en práctica para luchar contra la pobreza, tales como la gestión de recursos hídricos y la agrosilvicultura, tienen sinergia con la mitigación (*acuerdo mediano, pruebas limitadas*). Por ejemplo, la agrosilvicultura que se realiza para producir combustible de la madera o para proteger los ingresos de las fincas agrícolas de la variación climática también puede aumentar el secuestro de carbono. En muchas regiones, las opciones de mitigación agrícola reciben una mayor influencia de políticas no climáticas, incluidas políticas macroeconómicas, agrícolas y del medio ambiente. Tales políticas se basan en convenciones de las Naciones Unidas (por ejemplo, Biodiversidad y Desertificación), pero a menudo las cuestiones nacionales o regionales las impulsan. Entre las políticas no climáticas más rentables se encuentran las que promueven el uso sostenible de los suelos, agua y otros recursos agrícolas, puesto que ayudan a aumentar las reservas de carbono en el suelo y minimizar el desecho de recursos (energía, fertilizantes) (*acuerdo alto, pruebas medianas*) [8.7].

Beneficios conjuntos de las políticas de mitigación de gases de efecto invernadero

Algunas prácticas agrícolas sólo tienen resultados favorables, pero la mayoría implican compensaciones recíprocas. Los ecosistemas agrícolas son complejos. Los beneficios conjuntos y compensaciones recíprocas de cualquier práctica agrícola pueden variar de un lugar a otro debido a las diferencias en el clima, suelo o la forma en que se adopta la práctica (*acuerdo alto, pruebas medianas*).

Por ejemplo, al producir bioenergía, si la fuente de alimentación son los desechos de cultivos, la materia orgánica del suelo se puede agotar al retornar menos cantidad de carbono y esto reduciría la calidad del suelo. Si por el contrario, la fuente de alimentación es un cultivo perenne con raíces densas, la materia orgánica del suelo se renovaría y esto mejoraría la calidad del suelo.

Muchas actividades de mitigación agrícola muestran sinergia con los objetivos del sostenibilidad. Es probable que las políticas de mitigación que promueven el uso eficiente de fertilizantes, mantienen el carbono de los suelos y mantienen la producción agrícola tengan la mayor sinergia con el desarrollo sostenible (*acuerdo alto, pruebas medianas*).

Por ejemplo, el aumento del carbono en el suelo puede, además, mejorar la seguridad de alimentos y los ingresos económicos. Otras opciones de mitigación tienen impactos menos seguros sobre el desarrollo sostenible. Por ejemplo, el uso de algunas enmiendas orgánicas puede mejorar el secuestro de carbono, pero los impactos en la calidad del agua pueden variar en dependencia de la enmienda. Los beneficios conjuntos a menudo se deben a la mejora de la eficacia, la reducción de costes y los beneficios conjuntos para el medio ambiente. Entre los perjuicios se incluyen: competencia por la tierra, producción agrícola reducida y factores de estrés medioambiental (*acuerdo mediano, pruebas limitadas*) [8.4.5].

Investigación, desarrollo, aplicación, difusión y transferencia tecnológica

Muchas de las estrategias de mitigación descritas sector agrícola emplean la tecnología existente. Por ejemplo, el aumento del rendimiento de cultivos y la productividad animal provoca la disminución de las emisiones por unidad de producción. Los aumentos en la productividad se obtienen mediante una amplia gama de prácticas – mejor gestión, cultivos genéticamente modificados, perfeccionamiento de los cultivos, sistemas de recomendación de fertilizantes, agricultura de precisión, mejora de las especies de animales, mejora de la nutrición animal, aditivos dietéticos e impulsores del crecimiento, aumento de la fertilidad en los animales, fuentes de alimentación bioenergéticas, digestión anaerobia de lodos y sistemas de captura de CH₄ – que reflejan la tecnología existente (*acuerdo alto, pruebas abundantes*). Algunas estrategias incluyen nuevos usos de las tecnologías existentes. Por ejemplo, los aceites se usan hace muchos años en las dietas animales para aumentar su contenido energético, pero su función y viabilidad para eliminar el CH₄ todavía es nueva y no está bien definida. Se necesita más investigación y desarrollo en algunas tecnologías [8.9].

Perspectiva a largo plazo

Es posible que la demanda de alimentos se duplique para el año 2050 y conduzca a prácticas de producción intensiva (por ejemplo, aumento del uso de fertilizantes nitrogenados). Además, los aumentos proyectados en el consumo de productos ganaderos aumentarán las emisiones de CH₄ y N₂O si se incrementa la cantidad de ganado. Esto provocaría un aumento de las emisiones en la línea de base después de 2030 (*acuerdo alto, pruebas medianas*). Las medidas de mitigación agrícola ayudarán a reducir las emisiones de GEI por unidad de producto respecto a la línea de base. Sin embargo, hasta el año 2030, sólo aproximadamente el 10% del potencial de mitigación se corresponde con el CH₄ y N₂O. La aplicación de nuevas prácticas de mitigación para los sistemas ganaderos y aplicaciones de

fertilizantes será esencial en la prevención del aumento de las emisiones derivadas de la agricultura después de 2030.

Además, otras incertidumbres impiden proyectar los potenciales de mitigación a largo plazo. Por ejemplo, los efectos del cambio climático son inciertos: el cambio climático futuro puede disminuir las tasas de secuestro de carbono del suelo o podría incluso liberar el carbono del suelo, aunque el efecto es incierto ya que el cambio climático puede también aumentar la introducción de carbono en el suelo mediante una alta producción de cultivos. Algunos estudios indican que las mejoras tecnológicas pueden contrarrestar en potencia los impactos negativos del cambio climático en las reservas de carbono de los suelos de cultivo y forraje, de manera que el perfeccionamiento tecnológico representa un factor clave para la mitigación futura de los GEI. Tales tecnologías podrían actuar, por ejemplo, mediante el aumento de la producción, aumentando así el contenido de el retorno del carbono al suelo y reduciendo la demanda de nuevos suelos cultivables (*acuerdo alto, pruebas medianas*) [8.10].

9. Sector forestal

Desde el TAR, existen nuevas estimaciones de mitigación disponibles procedentes de la escala local y mundial. Existen análisis económicos importantes y evaluaciones mundiales. Existen investigaciones tempranas sobre las opciones de mitigación y adaptación y los vínculos con el desarrollo sostenible. Cada vez se presta más atención sobre las reducciones de las emisiones derivadas de la deforestación como una opción de mitigación de bajo coste que tendría efectos secundarios positivos significativos. Existen pruebas de que los impactos del cambio climático pueden reducir también el potencial de mitigación de los bosques.

Estado del sector, tendencias de desarrollo incluidas la producción, consumo e implicaciones

Los bosques mundiales cubren 3952 millones de ha (Tabla RT.12) que representan aproximadamente el 30% de la superficie terrestre mundial. Lo más importante para el ciclo de carbono es que entre 2000 y 2005 la deforestación total continuó a una tasa de 12,9 millones ha/año, principalmente como resultado de la conversión de bosques en tierras agrícolas, pero también debido a la expansión de los asentamientos humanos y las infraestructuras, a menudo para la tala. La deforestación total aumentó ligeramente a 13,1 millones ha/año en el decenio de 1990. Gracias a la repoblación forestal, restauración del paisaje y expansión natural de los bosques, la pérdida neta de bosques entre 2000 y 2005 fue de 7,3 millones ha/año, con mayores pérdidas en América del Sur, África y el sudeste asiático. Esta tasa de pérdida neta es menor que la pérdida de 8,9 millones ha/año en el decenio de 1990 (*acuerdo mediano, pruebas medianas*) [9.2.1].

Fuentes de emisiones y sumideros; tendencias

A escala mundial, durante el último decenio del siglo XX, la deforestación en los trópicos y el resurgimiento de bosques

Tabla RT.12: Estimaciones de áreas boscosas, cambios netos en las áreas boscosas (las cifras negativas indican un decrecimiento), reserva de carbono en la biomasa viva y crecimiento de la reserva en 1990, 2000 y 2005 [Tabla 9.1].

Región	Área boscosa (millones ha)	Cambio anual (millones ha/año)		Reserva de carbono en la biomasa viva (MtCO ₂)			Aumento de la reserva en 2005
	2005	1990-2000	2000-2005	1990	2000	2005	(millones m ³)
África	635.412	-4.4	-4.0	241267	228067	222933	64957
Asia	571.577	-0.8	1.0	150700	130533	119533	47111
Europa ^{a)}	1001.394	0.9	0.7	154000	158033	160967	107264
América del Norte y Central	705.849	-0.3	-0.3	150333	153633	155467	78582
Oceania	206.254	-0.4	-0.4	42533	41800	41800	7361
América del Sur	831.540	-3.8	-4.3	358233	345400	335500	128944
Mundo	3952.026	-8.9	-7.3	1097067	1057467	1036200	434219

Nota:

^{a)} Incluida toda la Federación Rusa.

en las zonas templadas y partes de la zona boreal constituyeron los factores principales responsables de las emisiones y eliminaciones de CO₂, respectivamente (Tabla RT.12, Gráfico RT.21). Se estima que las emisiones derivadas de la deforestación en el decenio de 1990 ascendieron a 5,8 GtCO₂/año.

Sin embargo, las observaciones reales del terreno y las estimaciones de los modelos descendentes no concuerdan en cuanto a la medida en que la pérdida de carbono debida de la deforestación tropical se compensa con la expansión de las áreas boscosas y la acumulación de la biomasa leñosa en las zonas boreales y templadas. Los métodos descendentes basados en la inversión de modelos de transporte atmosférico estiman que el sumidero de carbono terrestre neto en el decenio de 1990, el balance entre los sumideros en latitudes nortes y las fuentes en los trópicos, es de aproximadamente 9,5 GtCO₂. Las estimaciones actuales se corresponden con el aumento hallado anteriormente en el sumidero de carbono terrestre en el decenio de 1990 respecto al de 1980, pero las estimaciones actuales de los sumideros y la tasa de aumento pueden ser menores que los indicados anteriormente. La estimación residual de sumidero derivado de la inversión de los modelos de transporte atmosférico es considerablemente mayor que cualquier otra estimación mundial de sumidero basado en observaciones terrestres.

Una mayor comprensión de la complejidad de los efectos del cambio de la superficie de la tierra en el sistema climático muestra la importancia de considerar la función del albedo de superficie, los flujos de calor sensible y latente, la evaporación y otros factores a la hora de elaborar políticas para mitigar el cambio climático en el sector forestal. Se necesitan herramientas complejas de modelado para considerar completamente el efecto climático del cambio de la superficie terrestre y para gestionar las reservas de carbono en la biosfera, pero todavía no están disponibles. El efecto potencial del cambio climático proyectado sobre el balance neto de carbono en los bosques aún es incierto [9.3; 9.4].

Debido a que el incluso el funcionamiento actual de la biosfera es incierto, es muy difícil proyectar el balance de

carbono del sector forestal mundial. Generalmente, existe una falta de estudios ampliamente aceptados y, por tanto, faltan líneas de base. Las tendencias del desarrollo en los países que no pertenecen a la OCDE y, por consiguiente, de la tasa de deforestación, no están definidas. En los países de la OCDE y en economías en transición, el desarrollo de tendencias de gestión, el mercado de productos de la madera y los impactos del cambio climático permanecen inciertos. Los modelos a largo plazo según el Capítulo 3, muestran emisiones de CO₂ de línea de base derivadas del cambio en los usos del territorio y silvicultura en el año 2030 que son iguales o ligeramente inferiores que las del año 2000 (*acuerdo mediano, pruebas medianas*) [9.3; 9.4].

Descripción y evaluación de las tecnologías y prácticas, opciones y potenciales, costes y sostenibilidad de la mitigación

La dinámica del carbono terrestre se caracteriza por largos períodos de tasas pequeñas de absorción de carbono por hectárea, interrumpidos por cortos períodos de rápidas y grandes liberaciones de carbono durante alteraciones o cosechas. Aún cuando un conjunto individual de árboles en un bosque puede ser fuente o sumidero, el balance de carbono de un bosque se determina mediante la suma del balance neto de todos los conjuntos de árboles.

Las opciones disponibles para reducir las emisiones de fuentes y/o aumentar las eliminaciones mediante sumideros en el sector forestal se agrupan en cuatro categorías generales:

- mantener o aumentar el área de bosques;
- mantener o aumentar la densidad de carbono in situ;
- mantener o aumentar la densidad de carbono en el terreno a escala del terreno;
- aumentar las reservas de carbono en los productos de la madera en fuera del sitio y aumentar la sustitución de productos y combustibles.

Cada actividad de mitigación tiene una secuencia temporal de acciones característica y costes y beneficios de carbono

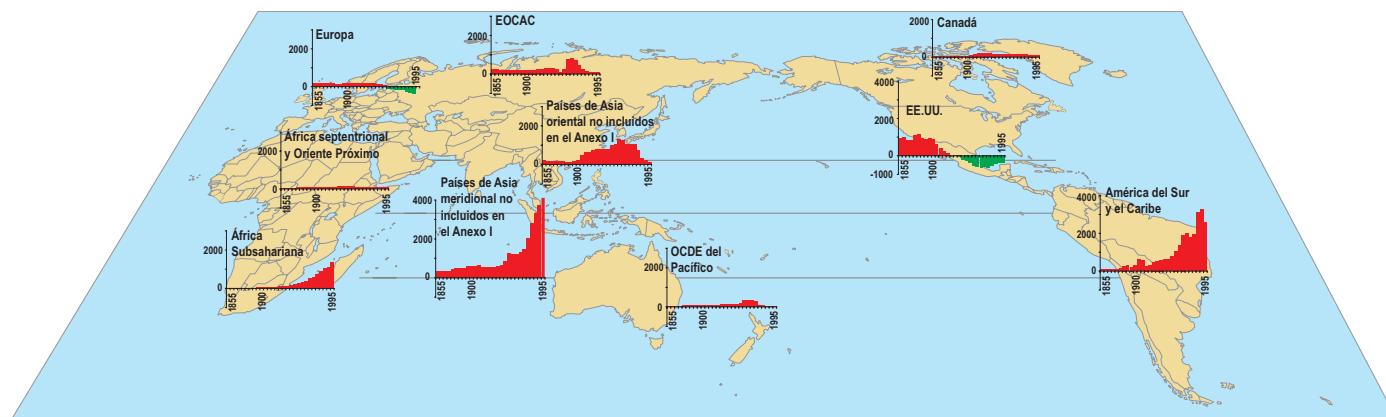


Gráfico RT.21: Balance histórico del carbono de los bosques (MtCO₂) por regiones, 1855–2000 [Gráfico 9.2].

Notas: verde = sumidero; EOCAC = países de Europa oriental, Cáucaso y Asia central. Los datos promedian un período de cinco años; los años marcan el año donde comienza el período.

(Gráfico RT.22). Respecto a una línea de base, las ganancias a corto plazo más altas siempre se alcanzan mediante actividades de mitigación destinadas a evitar las emisiones (reducir la deforestación o degradación, protección contra incendios, reducción de la quema, etc.).

Todas las actividades de gestión forestal destinadas a aumentar el nivel de densidad de carbono in situ y a escala del terreno constituyen prácticas comunes que son técnicamente viables, pero la extensión y área donde se pueden implementar puede aumentar considerablemente. Los aspectos económicos constituyen generalmente los obstáculos principales, porque la retención del carbono adicional en los sitios retrasa las ganancias de las cosechas.

A largo plazo, una estrategia sostenible de gestión forestal destinada a mantener o aumentar las reservas de carbono forestal, mientras continua la producción forestal anual de madera, fibra o energía, generará el beneficio de mitigación sostenible más alto.

Evaluaciones de modelos regionales

Los estudios ascendentes regionales muestran que las opciones de mitigación forestal tienen el potencial económico (con costes de hasta 100 USD/tCO₂-eq) para aportar 1,3-4,2 MtCO₂/año (promedio 2,7 GtCO₂/año) en el año 2030 si se excluye la bioenergía. Se puede lograr hasta un 50% a costes por debajo de 20 USD/tCO₂ (1,6 GtCO₂/año) con grandes diferencias entre regiones. Los efectos combinados de la reducción de la deforestación y degradación, forestación, gestión forestal, agrosilvicultura y bioenergía tienen potencial para aumentar desde la actualidad hasta el año 2030 y después de esta fecha. Este análisis asume que la implementación gradual de las actividades de mitigación comienza en el presente (*acuerdo mediano, pruebas medianas*) [9.4.4].

Los modelos mundiales descendentes prevén potenciales de mitigación de 13,8 GtCO₂-eq/año en el año 2030 a precios de carbono menores o iguales a 100 USD/tCO₂. La suma de los

pronósticos regionales es el 22% de este valor para el mismo año. Los estudios regionales tienden a utilizar datos más detallados y considerar una gama más amplia de opciones de mitigación y, por tanto, pueden reflejar con mayor exactitud las circunstancias y obstáculos regionales que los modelos mundiales más sencillos y aditivos. Sin embargo, los estudios regionales varían en estructura de modelos, cobertura, enfoque analítico y suposiciones (incluidas las suposiciones de línea de base). Se necesita una investigación más profunda para reducir la brecha en las estimaciones del potencial de mitigación de las evaluaciones mundiales y regionales (*acuerdo mediano, pruebas medianas*) [9.4.3].

Actividades de mitigación	Tipo de impacto	Tiempo de impacto	Tiempo de costo
1A Aumento del área de bosques (por ejemplo, bosques nuevos)	↑	[Gráfico de curva de impacto]	[Gráfico de curva de costo]
1B Mantener el área de bosques (p.ej., prevenir la deforestación, CUT)	↓	[Gráfico de curva de impacto]	[Gráfico de curva de costo]
2A Aumento del nivel de densidad de C in situ (por ejemplo, gestión intensiva, fertilización)	↑	[Gráfico de curva de impacto]	[Gráfico de curva de costo]
2B Mantener el nivel de densidad de C in situ (p.ej., evitar la degradación)	↓	[Gráfico de curva de impacto]	[Gráfico de curva de costo]
3A Aumentar los stocks de C a escala del terreno (por ejemplo, SFM, agricultura, etc.)	↑	[Gráfico de curva de impacto]	[Gráfico de curva de costo]
3B Mantener los stocks de C a escala del terreno (por ejemplo, eliminar las perturbaciones)	↓	[Gráfico de curva de impacto]	[Gráfico de curva de costo]
4A Aumentar el C fuera del sitio en los productos (pero deberá satisfacer el 1B, 2B y 3B)	↑	[Gráfico de curva de impacto]	[Gráfico de curva de costo]
4B Increase bioenergy and substitution (but must also meet 1B, 2B et 3B)	↓	[Gráfico de curva de impacto]	[Gráfico de curva de costo]

Legend

Tipo de impacto	Tiempo (cambio en el carbono con el paso del tiempo)	Tiempo del coste (dólares (USD) con el paso del tiempo)
Perfeccionar sumideros ↑	Retrasada [Gráfico]	Retrasada [Gráfico]
Reducir fuentes ↓	Inmediata [Gráfico]	Frontal [Gráfico]
	Sostenida o repetida [Gráfico]	Continuo [Gráfico]

Gráfico RT.22: Resumen general del tipo de opciones disponibles en el sector forestal y su tipo y tiempo de los efectos en las reservas de carbono y tiempo de los costes [Gráfico 9.4].

La mejor estimación del potencial de mitigación económico para el sector forestal en esta etapa se encuentra, por tanto, se encuentra en el intervalo entre 2,7 y 13,8 GtCO₂/año en el año 2030, para costes < 100 USD/tCO₂; para costes <20 USD/tCO₂ se encuentra entre 1,6 y 5 GtCO₂/año. Aproximadamente el 65% del potencial de mitigación total (hasta 100 USD/tCO₂-eq) se localiza en los trópicos y se puede alcanzar aproximadamente el 50% del total al reducir las emisiones derivadas de la mitigación (acuerdo bajo, pruebas medianas).

La silvicultura puede, además, contribuir al abastecimiento de bionergía a partir de residuos forestales. Sin embargo, el potencial bioenergético se tiene en cuenta en los sectores de suministro de electricidad, transporte (biocombustibles), industrial y de edificios (véase Capítulo 11). La silvicultura puede aportar del orden de 0,4 Gt/CO₂ cada año si nos basamos en los estudios ascendentes del potencial de suministro de biomasa de silvicultura y asumimos que todo se utilizará (lo que depende completamente del coste de la biomasa de silvicultura en comparación con otras fuentes).

Los estudios descendentes mundiales proporcionan información sobre dónde y cuáles de las opciones de mitigación se pueden ubicar con mejores resultados a nivel mundial (Gráfico RT.24).

Interacciones de las opciones de mitigación con la vulnerabilidad y adaptación

Las actividades de mitigación en la silvicultura se pueden diseñar para que sean compatibles con la adaptación al cambio climático, mantenimiento de la biodiversidad y el fomento del desarrollo sostenible. Si comparamos los beneficios conjuntos y costes para el entorno y la sociedad con los beneficios del carbono intensificará los compromisos y sinergias y ayudará a fomentar el desarrollo sostenible.

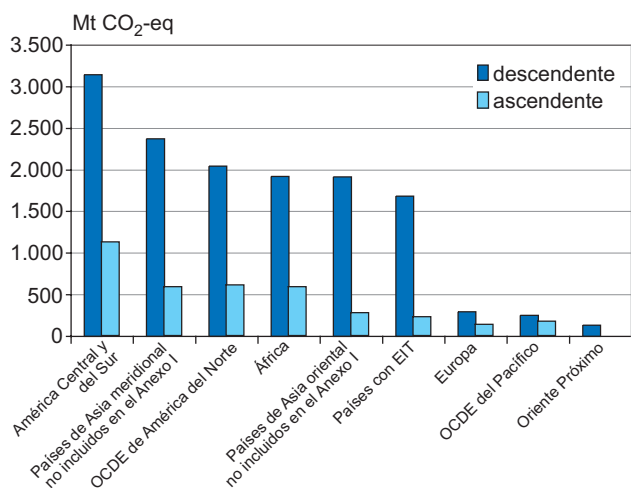


Gráfico RT.23: Comparación de resultados del potencial de mitigación económico a <100 USD/tCO₂-eq en el año 2030 en el sector forestal, según modelos descendentes mundiales comparados con resultados de modelos regionales [Gráfico 9.13].

La literatura sobre la interacción entre la mitigación forestal y el cambio climático se encuentra en una fase temprana. Es probable que los bosques reciban los impactos del cambio climático, lo que podría reducir su potencial de mitigación. Una opción primaria de adaptación de la gestión es reducir en los bosques tantos factores de tensión subordinados como sea posible.

El mantenimiento de poblaciones ampliamente dispersas y viables de especies individuales minimiza la probabilidad de que las situaciones catastróficas localizadas provoquen la extinción de las especies. La constitución de zonas protegidas o reservas naturales es un ejemplo de mitigación así como la adaptación. La protección de zonas (con corredores) también conduce a la conservación de la biodiversidad y, a su vez, reduce la vulnerabilidad al cambio climático.

Los proyectos de mitigación forestal proporcionan beneficios conjuntos de adaptación en otros sectores. Los ejemplos incluyen a la agrosilvicultura que reduce la vulnerabilidad a las sequías de la producción de los cultivos de regadío, a los manglares que reducen la vulnerabilidad de los asentamientos humanos costeros y a los cortavientos que aminoran la desertificación (acuerdo mediano, pruebas medianas) [9.5].

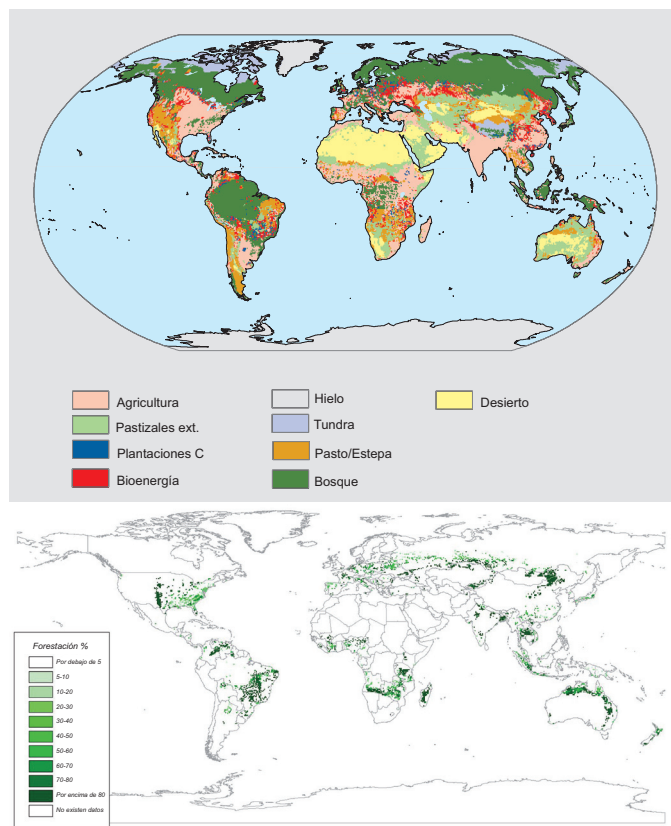


Gráfico RT.24: Ubicación de las actividades mundiales de forestación según dos modelos descendentes mundiales. Superior: ubicación de las plantaciones de bionergía y carbono a escala mundial en el año 2010; inferior: porcentaje de forestación en el año 2100 según las celdas de la leyenda [Gráfico 9.11].

Eficacia de las políticas climáticas y experiencia con las mismas, potenciales, barreras y oportunidades/ problemas de implementación

La silvicultura puede hacer un aporte muy importante a la carpeta de mitigación mundial de bajo coste que ofrece sinergias con el desarrollo sostenible y la adaptación. El Capítulo 9 de este informe muestra un conjunto de opciones y políticas para lograr este potencial de mitigación. Sin embargo, hasta el momento no se han llevado a cabo estas opciones debido al actual contexto institucional, la falta de incentivos para los administradores de bosques y la falta de ejecución de las regulaciones existentes. Si no existen mejores instrumentos políticos, es probable que sólo se alcance una pequeña parte de este potencial.

El logro del potencial de mitigación necesita capacidad institucional, capital de inversión, tecnología, I+D y transferencia, así como políticas (internacionales) e incentivos adecuados. En muchas regiones, su ausencia ha sido una barrera para implementar las actividades de mitigación del sector forestal. Sin embargo, tenemos excepciones notables, tales como el éxito regional en la reducción de las tasas de deforestación y la implementación de programas de forestación (*acuerdo alto, pruebas abundantes*).

Se necesitan estrategias múltiples y de específicas de ubicación para dirigir las políticas de mitigación en este sector. Las opciones óptimas dependen del estado actual de los bosques, los controladores dominantes del cambio forestal y las dinámicas de los bosques futuras anticipadas en cada región. Se necesita la participación de todas las partes implicadas y responsables de políticas para incentivar los proyectos de mitigación y diseñar una mezcla óptima de medidas. Es importante la integración de la mitigación en el sector forestal con la planificación de los usos del territorio.

La mayoría de las políticas existentes para aminorar la deforestación tropical tienen un impacto mínimo debido a la falta de capacidad reguladora e institucional o a la neutralización de los incentivos de rentabilidad. Además de la ejecución de regulaciones más especializadas, los mercados de carbono bien constituidos u otros esquemas de pagos de servicios del medio ambiente pueden ayudar a eliminar las barreras de la reducción de la deforestación mediante el suministro de incentivos financieros positivos para conservar la cubierta forestal.

Existen varias propuestas para hacer operativas las actividades después del año 2012, incluidos los enfoques basados y no basados en el mercado. Por ejemplo, mediante un fondo especial para reducir voluntariamente las emisiones de la deforestación. Las medidas políticas tales como las subvenciones y la exención de impuestos se usan satisfactoriamente para fomentar la forestación y reforestación en países desarrollados y en desarrollo. Sin embargo, se debe tener cuidado para evitar posibles impactos negativos en el medio ambiente y la sociedad provocados por el establecimiento de plantaciones a gran escala.

A pesar del bajo coste relativo y la cantidad de efectos secundarios potenciales positivos de la forestación y

reforestación en virtud del Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL), aún no se están implementando muchas actividades de proyectos debido a un número de barreras, incluida el acuerdo tardío sobre las normas que rigen las actividades de proyectos de forestación y reforestación del MDL, y la complejidad de las mismas. Los requisitos para que los proyectos de mitigación forestal sean viables a mayor escala incluyen la seguridad acerca de los compromisos futuros, normas simples y modernizadas, y la reducción de los costes de las transacciones.

La normalización de los proyectos de evaluación puede desempeñar una función importante a la hora de superar las incertidumbres entre compradores potenciales, inversores y participantes de los proyectos (*acuerdo alto, pruebas medianas*) [9.6].

Bosques y desarrollo sostenible

Si bien la evaluación en el capítulo del sector forestal identifica incertidumbres latentes sobre la magnitud de los costes y beneficios de la mitigación, en la actualidad existen las tecnologías y conocimientos necesarios para implementar las actividades de mitigación. La silvicultura puede contribuir de manera considerable y sostenida a la carpeta mundial de mitigación, a la vez que satisface una amplia gama de objetivos sociales, económicos y ecológicos. Se pueden alcanzar importantes beneficios conjuntos si se consideran las opciones de mitigación forestal como un elemento de planes de gestión de la tierra más amplios.

Las plantaciones pueden hacer aportes positivos, por ejemplo, al empleo, crecimiento económico, exportaciones, suministro energético renovable y erradicación de la pobreza. En algunos casos, las plantaciones también provocan impactos sociales negativos como la pérdida de la zona de pastoreo y fuentes de sustento tradicional. La agrosilvicultura puede producir una amplia gama de beneficios económicos, sociales y del medio ambiente. Es probable que estos beneficios superen los beneficios de la forestación a gran escala. La identificación y consideración de los beneficios auxiliares puede reducir o compensar parcialmente los costes de las medidas de mitigación, ya que tienen una tendencia local en vez de mundial (*acuerdo alto, pruebas medianas*) [9.7].

Investigación, desarrollo, aplicación, difusión y transferencia tecnológica

La aplicación, difusión y transferencia de tecnologías, como los sistemas perfeccionados de gestión forestal, las prácticas forestales y el procesamiento de tecnologías, incluida la bionergía, son factores claves para mejorar la viabilidad económica y social de las diferentes opciones de mitigación. Los gobiernos pueden desempeñar una función fundamental al brindar apoyo financiero y técnico, fomentar la participación de las comunidades, instituciones y ONG (*acuerdo alto, pruebas abundantes*) [9.8].

Perspectivas a largo plazo

Las incertidumbres en el ciclo de carbono, los impactos inciertos del cambio climático sobre los bosques y sus diversas

retroefectos dinámicos, los retrasos en los procesos de emisión-secuestro, así como incertidumbres en las vías socioeconómicas futuras (por ejemplo, hasta qué punto se puede reducir considerablemente la deforestación en los próximos decenios) producen grandes variaciones en las proyecciones futuras del balance del carbono de los bosques.

En general, se prevé que a largo plazo, las actividades de mitigación aumenten los sumideros de carbono y que el equilibrio neto dependa de cada región. Los bosques boreales primarios constituirán pequeñas fuentes o sumideros dependiendo del efecto neto de intensificación del crecimiento frente a la pérdida de materia orgánica del suelo y emisiones derivadas del aumento de los incendios. Es probable que los bosques templados continúen siendo sumideros netos de carbono, favorecidos también por la intensificación del crecimiento forestal a raíz del cambio climático. Se prevé que en las regiones tropicales, los cambios en el uso de los territorios provocados por el ser humano continúen controlando la dinámica durante decenios. Después del año 2004, los bosques tropicales se pueden convertir en sumideros de carbono, dependiendo de la eficacia de las políticas para reducir la degradación forestal y deforestación, y de la influencia del cambio climático. Además, de medio a largo plazo, se prevé que aumente la importancia de la bionergía comercial.

El desarrollo de estrategias óptimas regionales para el cambio climático en el sector forestal exigirá análisis complejos de las compensaciones recíprocas (sinergias y competencias) en el uso del tierra entre la silvicultura y otros usos del territorio, compensaciones recíprocas entre la conservación de los bosques para el almacenamiento de carbono y otros servicios medioambientales, como la biodiversidad y la conservación de cuencas, y la explotación sostenible de bosques para que la sociedad cuente con fibra con contenido de carbono, recursos de madera y bionergía, y compensaciones recíprocas entre las estrategias de uso de los productos de la madera talada con el objetivo de maximizar el almacenamiento de productos de larga vida, el reciclaje y el uso como fuente de bioenergía [9.9].

10. Gestión de desechos

Estado del sector, tendencias de desarrollo e implicaciones

La generación de desechos se relaciona con la población, riqueza y urbanización. Se estima que las tasas actuales mundiales de desechos post consumidor asciendan a 900–1300 Mt/año. Las tasas aumentaron en los últimos años, principalmente en países en desarrollo con rápido crecimiento demográfico, crecimiento económico y urbanización. En los países altamente desarrollados, constituye un objetivo actual desvincular la generación de desechos de las fuerzas impulsoras de la economía tales como el PIB, las tendencias recientes indican que las tasas per cápita de desechos post consumidor se encuentran en el máximo gracias al reciclaje, minimización de desechos, reutilización y otras iniciativas (*acuerdo mediano, pruebas medianas*) [10.1; 10.2].

El desecho post consumidor contribuye ligeramente a las emisiones mundiales de GEI (<5%), mientras que el CH₄ de los vertederos representa >50% de las emisiones actuales. El CH₄ y N₂O de las aguas de desecho representan fuentes secundarias de emisiones. Además, emisiones menores de CO₂ se derivan de la incineración de desechos que contienen carbono fósil. En general, existen grandes incertidumbres respecto a la cantidad de emisiones directas e indirectas y al potencial de mitigación en el sector de desechos, que se puede reducir mediante la recopilación y análisis de datos de manera sistemática y coordinada a escala nacional. No existen en la actualidad métodos de inventario para la cantidad de emisiones anuales de GEI derivadas de los desechos del transporte ni para las emisiones anuales de gases fluorinados de desechos sólidos (*acuerdo alto, pruebas abundantes*) [10.3].

Es importante señalar que el desecho post consumidor constituye una fuente de energía renovable que se puede explotar mediante procesos térmicos (incineración y combustión industrial), uso del gas de vertederos y uso del biogás de la digestión anaerobia. Los desechos tienen una ventaja económica sobre muchos recursos de biomasa porque se recogen a expensas públicas. El contenido energético de los desechos se puede explotar con más eficacia mediante los procesos térmicos: durante la combustión, se obtiene energía directamente de la biomasa (productos de papel, madera, tejidos naturales, alimentos) y de fuentes de carbono fósil (plástico, tejidos sintéticos). Si asumimos un valor promedio térmico de 9 GJ/t, los desechos mundiales contienen >8 EJ de la energía disponible, lo cual puede aumentar a 13 EJ (aproximadamente el 2% de la demanda energética primaria) para el año 2030 (*acuerdo mediano, pruebas medianas*) [10.1]. En la actualidad, más de 130 millones de toneladas/año de desechos se queman a escala mundial, lo que equivale a > 1 EJ/año. La recuperación del CH₄ de los vertederos como fuente de energía renovable se comercializó hace más de 30 años con un valor actual de energía de >0,2 EJ/año. Junto con procesos térmicos, el gas de vertederos y el gas de del compostaje son fuentes importantes de energía suplementaria (*acuerdo alto, pruebas abundantes*) [10.1; 10.3].

Debido a las medidas complementarias (aumento del reciclaje y disminución de vertederos mediante el uso de tecnologías alternativas) y de recuperación del gas de vertederos, se han estabilizado las emisiones de CH₄ de los vertederos en los países desarrollados. La selección de tecnologías de gestión de desechos maduras y a gran escala para evitar o reducir las emisiones de GEI en comparación con las tecnologías de los vertederos incluyen la incineración para obtención de energía a partir de residuos y procesos biológicos, tales como el compostaje o tratamiento mecánico-biológico (TMB). Sin embargo, en los países en desarrollo, las emisiones de CH₄ de los vertederos aumentan a medida que se implementan prácticas anaerobias más controladas. Esto se cumple en zonas de urbanización vertiginosa donde los vertederos controlados proporcionan una estrategia de recolección de desechos más adecuada para el medio ambiente que los vertederos al aire libre, al reducir los vectores que transmiten enfermedades, olores tóxicos, combustión no controlada y emisiones contaminantes

del aire, agua y suelo. Paradójicamente, aumentan las emisiones de GEI a medida que la producción aerobia de CO_2 (mediante la quema y descomposición aerobia) se desplaza hacia producción anaerobia de CH_4 . En gran medida, esta es la misma transición a vertederos sanitarios que ocurrió en muchos países desarrollados durante 1950–1970. El aumento de las emisiones de CH_4 se puede mitigar mediante la introducción acelerada de la recuperación de gas, asistida por mecanismos del Protocolo de Kyoto tales como el MDL e Implementación Conjunta (IC). A finales de octubre de 2006, los proyectos de recuperación del gas de vertederos representaron el 12% del promedio anual de las Reducciones Certificadas de Emisiones (RCE) en el marco del MDL. Además, se pueden implementar estrategias alternativas de gestión de desechos tales como el reciclaje y compostación en los países en desarrollo. El compostaje puede representar una alternativa asequible y sostenible para los vertederos, principalmente donde se aplican estrategias de poca tecnología e intensivas en cuanto a mano de obra a flujos de desechos biodegradables seleccionados (*acuerdo alto, pruebas abundantes*) [10.3].

Las iniciativas de reciclaje, reutilización y minimización de desechos, en el sector público y privado, reducen indirectamente las emisiones de GEI al disminuir el volumen de desechos que se necesitan recolectar. Dependiendo de las regulaciones, políticas, mercados, prioridades económicas y restricciones locales, los países desarrollados implementan tasas elevadas de reciclaje para conservar los recursos, eliminar el uso de combustibles fósiles y evitar la generación de GEI. En la actualidad, no se puede calcular la tasa mundial de reciclaje debido a las diferentes líneas de base y definiciones. Sin embargo, se han logrado reducciones locales de $>50\%$. El reciclaje se puede realizar en muchos países para lograr reducciones adicionales. En los países en desarrollo, la recogida de desechos y el reciclaje informal constituyen prácticas comunes. Mediante actividades de reciclaje diferentes y a pequeña escala, las personas que se ganan la vida con la gestión descentralizada de los desechos pueden reducir considerablemente el volumen de desechos que necesita soluciones más centralizadas. Los estudios indican que las actividades de reciclaje de poca tecnología también pueden generar empleos mediante microfinanciación creativa y otras inversiones a pequeña escala. El reto es proporcionar condiciones de trabajo más seguras y saludables que las experimentadas actualmente por los recolectores de desechos en vertederos no controlados (*acuerdo mediano, pruebas medianas*) [10.3].

En cuanto a las aguas residuales, solamente el 60% de la población mundial tiene cobertura sanitaria (alcantarillado). Para el tratamiento de las aguas residuales, aproximadamente el 90% en los países desarrollados, pero menos del 30% en los países en desarrollo, tienen un sistema sanitario desarrollado (incluido alcantarillado y tratamiento de aguas residuales, tanques sépticos o letrinas). Además de la mitigación de los GEI, el perfeccionamiento de la gestión de aguas residuales proporciona una amplia gama de beneficios conjuntos en la salud y el medio ambiente (*acuerdo alto, pruebas abundantes*) [10.2; 10.3].

Con referencia a la gestión de desechos y aguas residuales en los países desarrollados, dos factores fundamentales del

desarrollo sostenible son la falta de recursos financieros y la selección de tecnologías verdaderamente sostenibles y adecuadas para un escenario específico. En muchos países en desarrollo representa un coste considerable implementar la recolección de desechos y aguas residuales, transporte, reciclaje, tratamiento y gestión de residuos. Sin embargo, la implementación de infraestructuras sostenibles de desechos y aguas residuales produce rentabilidades múltiples para ayudar en la ejecución de los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM) mediante la mejora de la salud pública, la conservación de los recursos hídricos y la reducción de los vertidos no tratados hacia el aire, superficie del agua, aguas subterráneas, suelos y zonas costeras (*acuerdo alto, pruebas abundantes*) [10.4].

Tendencias de emisiones

Con un total aproximado de emisiones de 1300 $\text{MtCO}_2\text{-eq/año}$ en el año 2005, el sector de aguas residuales aporta aproximadamente el 2–3% del total de emisiones de GEI en los países incluidos en el Anexo I y de EET y el 4–5% en los países que no incluidos en el Anexo I (véase la Tabla RT.13). En el período 2005–2020, las proyecciones normales indican que el CH_4 de los vertederos seguirá siendo la fuente mayor con el 55–60% del total. Las emisiones de CH_4 de los vertederos se estabilizan y disminuyen en muchos países desarrollados como resultado del aumento de la recuperación del gas de vertederos, combinada con la desviación de desechos para el reciclaje, minimización de desechos y estrategias alternativas de gestión térmica y biológica de desechos. Sin embargo, las emisiones de CH_4 de vertederos aumentan en los países en desarrollo debido a la gran cantidad de desechos sólidos a escala municipal a raíz del aumento de la población, el aumento del desarrollo económico y, hasta cierto punto, del reemplazo de la quema y el vertido al aire libre por vertederos gestionados. Sin el uso de medidas adicionales, se proyecta un aumento del 50% de las emisiones de CH_4 de los vertederos desde 2005 hasta 2020, principalmente en los países no incluidos en el Anexo I. Las emisiones de CH_4 y N_2O de las aguas residuales en los países en desarrollo también aumentan con rapidez a la vez que aumenta la urbanización y la población. Además, las emisiones de aguas residuales que se muestran en la Tabla RT.13 representan valores sobreestimados, porque se basan solamente en las aguas residuales de los seres humanos y no están disponibles para todos los países en desarrollo (*acuerdo alto, pruebas medianas*) [10.1, 10.2, 10.3, 10.4].

Descripción y evaluación de tecnologías, prácticas, opciones, potenciales, costes y sostenibilidad de la mitigación

Las tecnologías existentes en la gestión de desechos pueden mitigar con eficacia las emisiones de GEI de este sector; una amplia gama de estrategias maduras, de baja a alta tecnología y eficientes desde el punto de vista del medio ambiente están disponibles en el mercado para mitigar las emisiones y proporcionar beneficios conjuntos por la mejora de la salud y seguridad pública, protección de los suelos, prevención de la contaminación y suministro energético local. Conjuntamente,

Tabla RT.13: Tendencias de las emisiones de GEI de desechos según las directrices del inventario de la CMCC de 1996 y 2006, extrapolaciones y proyecciones normales. (MtCO₂-eq, redondeado) [Tabla 10.3].

Fuente	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	Notas
CH ₄ de vertederos	550	585	590	635	700	795	910	Promedio de directrices de 1996/2006
CH ₄ de aguas residuales ^a	450	490	520	590	600	630	670	Directrices de 1996
N ₂ O de aguas residuales ^a	80	90	90	100	100	100	100	Directrices de 1996
Incineración de CO ₂	40	40	50	50	50	60	60	Directrices de 2006
Total	1120	1205	1250	1375	1450	1585	1740	

Nota:

^{a)} Las emisiones de aguas residuales se sobreestiman – véase texto.

estas tecnologías pueden reducir directamente las emisiones de CH₄ (mediante la recuperación y utilización del CH₄ de vertederos, mejora de prácticas de vertederos, gestión mecanizada de aguas residuales, utilización de biogás procedente de digestión anaerobia) o evitar generación significativa de GEI (mediante el compostaje controlado de desechos orgánicos, la incineración avanzada, expansión de la cobertura sanitaria). Además, la minimización, el reciclaje y la reutilización de desechos representan un potencial importante y creciente de reducción indirecta de GEI mediante la conservación de materias primas, mejora de la eficiencia de energía y recursos y reducción del uso de combustibles fósiles. En los países desarrollados, la gestión responsable de las aguas residuales con un nivel tecnológico adecuado estimula el desarrollo sostenible y mejora la salud pública (*acuerdo alto, pruebas abundantes*) [10.4].

Debido a que la gestión de desechos a menudo se realiza a escala local sin la cuantificación de la mitigación de GEI conexos, se sobrestima la importancia del sector de desechos para reducir las emisiones mundiales de GEI (*acuerdo alto, pruebas medianas*) [10.1; 10.4]. Las estrategias flexibles y los incentivos financieros pueden aumentar las opciones de gestión de desechos para alcanzar los objetivos de mitigación del GEI; en el contexto de la gestión integrada de desechos, las decisiones locales sobre tecnología representan una función de muchas variables en competencia, incluyendo la cantidad y características de los desechos, costes y financiación, limitaciones reglamentarias y necesidades de infraestructura, incluida la tierra disponible y cuestiones de recolección/transporte. La evaluación del ciclo de vida (ECA) proporciona herramientas de apoyo a las decisiones (*acuerdo alto, pruebas abundantes*) [10.4].

Las emisiones del CH₄ de vertederos se reducen directamente mediante la extracción modificada de gases y sistemas de recuperación que constan de pozos verticales y/o colectores horizontales. Además, el gas de vertedero compensa el uso de combustibles fósiles para la calefacción industrial o comercial, la generación de electricidad in situ o como fuente de alimentación para combustibles sintéticos de gas natural. La recuperación comercial del CH₄ de vertederos ocurre a escala completa desde 1975 con utilización documentada en el año 2003 en 1150 plantas con una recuperación de 105 MtCO₂-eq/año. Debido a la existencia de muchos proyectos que queman el gas sin fines de uso, es probable que la recuperación total al menos duplique esta

cifra (*acuerdo alto, pruebas medianas*) [10.1; 10.4]. Una regresión lineal que utiliza datos históricos desde principios del decenio de 1980 hasta 2003 indica una tasa de crecimiento en la utilización del CH₄ de vertederos de aproximadamente 5% anual. Además de la recuperación del gas de vertedero, el futuro desarrollo e implementación de las «coberturas biológicas» en los vertederos pueden proporcionar una estrategia biológica adicional de bajo coste para mitigar las emisiones ya que las emisiones del CH₄ de vertederos [y compuestos orgánicos volátiles exentos de metano (COVEM)] también se pueden reducir mediante la oxidación microbiana aerobia en los suelos cubiertos de vertederos (*acuerdo alto, pruebas abundantes*) [10.4].

La incineración y co-combustión industrial para obtener energía de desechos proporcionan beneficios importantes de energía renovable y reemplazo de combustibles fósiles en >600 plantas a escala mundial, a la vez que produce menores emisiones de GEI en comparación con los vertederos. Los procesos térmicos con controles avanzados de emisiones representan una tecnología probada pero más costosa que los vertederos controlados con recuperación de gases de vertedero (*acuerdo alto, pruebas medianas*) [10.4].

Los procesos biológicos controlados proporcionan también estrategias importantes de mitigación de GEI, preferiblemente al usar flujos de desechos de fuentes separadas. El compostaje aerobio de desechos evita la generación de GEI y constituye una estrategia adecuada para muchos países desarrollados y en desarrollo, tanto como un proceso separado o como parte de un tratamiento biológico mecánico. En muchos países en desarrollo, principalmente en China y la India, se practica la digestión aerobia con baja tecnología a pequeña escala desde hace decenios. Como las plantas de compostaje e incineración de alta tecnología son insostenibles en muchos países en desarrollo, se puede implementar el compostaje con baja tecnología o la digestión anaerobia a fin de proporcionar soluciones sostenibles de gestión de desechos (*acuerdo alto, pruebas medianas*) [10.4].

Para el año 2030, el potencial total económico de reducción de las emisiones del CH₄ de desechos de vertedero a costes de <20 USD/tCO₂-eq oscila entre 400 y 800 MtCO₂-eq. De este total, 300–500 MtCO₂-eq/año tienen un coste negativo (Tabla RT.14). A largo plazo, si los precios de la energía siguen aumentando, tendrán lugar cambios más profundos

Tabla RT.14: Oscilaciones del potencial económico de mitigación para las emisiones regionales del CH₄ de vertederos en varias categorías de costes en el año 2030 [Tabla 10.5].

Región	Emisiones proyectadas en 2030 (MtCO ₂ -eq)	Potencial económico total de mitigación a <100 USD/tCO ₂ -eq (MtCO ₂ -eq)	Potencial económico de mitigación (MtCO ₂ -eq) en varias categorías de costes (USD/tCO ₂ -eq)			
			<0	0-20	20-50	50-100
OCDE	360	100-200	100-120	20-100	0-7	1
EET	180	100	30-60	20-80	5	1-10
No pertenecen a la OCDE	960	200-700	200-300	30-100	0-200	0-70
Mundial	1500	400-1000	300-500	70-300	5-200	10-70

Notas:

- 1) Los costes y potenciales de las aguas residuales no están disponibles.
- 2) Las cifras regionales se redondearon para reflejar la incertidumbre en las estimaciones y puede que no igualen los totales mundiales.
- 3) El secuestro del carbono de vertederos no se considera.
- 4) La duración de las medidas que reducen la eliminación de desechos en vertederos afecta el potencial de mitigación anual en el año 2030. Los límites superiores asumen que la eliminación de desechos de vertederos se reducirá en los próximos años al 25% de los desechos generados a nivel mundial. Los límites inferiores reflejan una duración más real para implementar medidas que reduzcan la eliminación de desechos de vertederos.

en las estrategias de gestión de desechos relacionadas con la recuperación de energía y materiales en países desarrollados y en desarrollo. Los procesos térmicos, que tienen un coste más alto que los vertederos, son más viables a medida que aumentan los precios de la energía. Debido a que los vertederos continúan produciendo CH₄ durante muchos decenios, los procesos térmicos y biológicos son complementarios para aumentar la recuperación del gas de vertedero en marcos de tiempo más cortos (*acuerdo alto, pruebas limitadas*) [10.4].

En cuanto a las aguas residuales, el aumento de los niveles de saneamiento en los países en desarrollo proporciona beneficios múltiples para la mitigación de GEI, mejora la salud pública, conserva los recursos hídricos y reduce los vertidos no tratados en el agua y los suelos. Históricamente, el saneamiento urbano en los países desarrollados se centra en plantas centralizadas de alcantarillados y tratamiento de aguas residuales, las cuales son muy costosas para las zonas rurales con baja densidad demográfica y puede que no sea práctica su implementación en zonas periféricas de rápido crecimiento con alta densidad demográfica. Se ha demostrado que una combinación de tecnología de bajo coste con esfuerzos concentrados para la aceptación de la comunidad, participación y gestión puede ampliar con éxito la cobertura de saneamiento. Las aguas residuales constituyen también una fuente secundaria de agua en países con escasez del líquido de manera que la reutilización y reciclaje de agua pueda mejorar los suministros irregulares de agua en países desarrollados y en desarrollo. Estas medidas, además, fomentan la implementación de pequeñas plantas de tratamiento de aguas residuales con cargas de nutrientes reducidas y bajas emisiones de GEI. Las estimaciones de los costes y potenciales de mitigación regionales de las aguas residuales no están disponibles (*acuerdo alto, pruebas limitadas*) [10.4].

Eficacia de las políticas climáticas y experiencia con las mismas, potenciales, barreras y oportunidades/ problemas de implementación

Una estrategia importante es la implementación de normas que fomenten u ordenen la recuperación del CH₄ de vertederos,

ya que el CH₄ es el GEI dominante en este sector. En los países desarrollados, aumentó la recuperación del CH₄ de vertederos como resultado de regulaciones directas para la captura del gas de vertederos, medidas voluntarias que incluyen la negociación de créditos para las emisiones de GEI e incentivos financieros (incluidos los créditos de impuestos) para la energía renovable verde. En los países en desarrollo, se anticipa que aumentará la recuperación del CH₄ de vertederos en los dos próximos decenios ya que la eliminación de desechos controlada constituye una estrategia importante de eliminación de desechos. JI y el CDM demostraron ser mecanismos útiles para la inversión externa de países industrializados, especialmente para proyectos de recuperación del gas de vertedero donde la falta de financiación representa un obstáculo importante. Los beneficios son dobles: la reducción de las emisiones de GEI con beneficios energéticos del CH₄ de los vertederos, más el perfeccionamiento del diseño y las operaciones de vertederos. En la actualidad (a finales de octubre de 2006, en virtud del CDM, el promedio anual de RCE de los 33 proyectos de recuperación de gas de vertederos representó el 12% del total. La mayoría de estos proyectos (Gráfico RT.25) se ubican en países de América Latina (72% de RCE de gas de vertederos), liderados por Brasil (9 proyectos; 48% de RCE) (*acuerdo alto, pruebas medianas*) [10.4].

En la Unión Europea, la recuperación de gas de vertederos es obligatoria en los vertederos existentes, mientras que la eliminación de desechos orgánicos se realiza a través de la Directiva sobre vertederos (1999/31/CE). Esta norma exige, para el año 2016, una reducción del 65% respecto al año 1995 del volumen de desechos orgánicos biodegradables que se elimina anualmente. Por tanto, los desechos generados se incineran o sufren un tratamiento mecánico y biológico (TMB) antes de que se eliminen en vertederos a fin de recuperar los reciclables y reducir el contenido de carbono orgánico. En el año 2002, las plantas de energía de desechos generaron aproximadamente 40 millones de GJ de la energía eléctrica y 110 millones de GJ de la energía térmica, mientras que en el período de 1990 hasta 2002, las emisiones de CH₄ de vertederos de la Unión Europea disminuyeron aproximadamente un 30% a raíz de las directivas de vertederos y leyes nacionales conexas (*acuerdo alto, pruebas abundantes*) [10.4; 10.5].

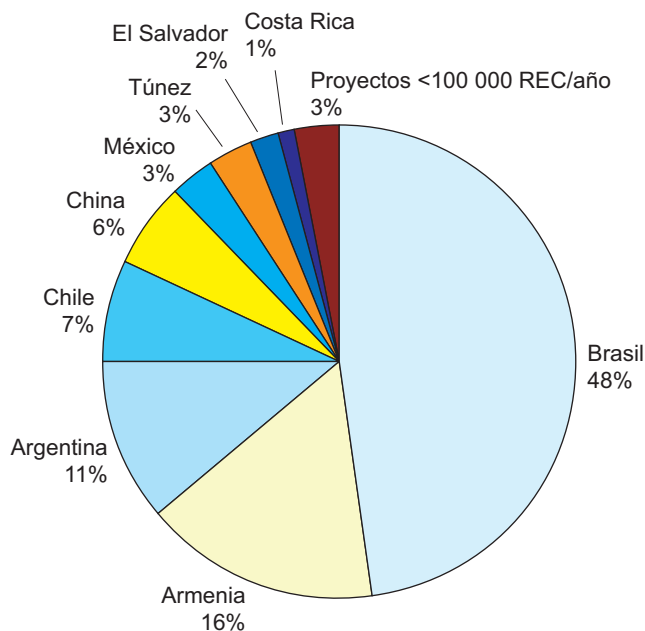


Gráfico RT.25: Distribución de los proyectos de gas de vertederos CDM basados en el promedio anual de las RCE de proyectos registrados a finales de octubre de 2006 [Gráfico 10.9].

Nota: De un total de 91 MtCO₂-eq/año se incluyen 11 MtCO₂-eq/año de RCE para el CH₄ de vertederos. Los proyectos de <100,000 RCE/año se ubican en Israel, Bolivia, Bangladesh y Malasia.

Políticas integradas y no climáticas que afectan las emisiones de gases de efecto invernadero: mitigación de GEI como beneficio conjunto de las políticas y regulaciones de desechos; función del desarrollo sostenible

La mitigación de GEI a menudo no constituye el controlador primario, pero representa en sí mismo un beneficio conjunto de las políticas y medidas del sector de desechos que tratan objetivos medioambientales amplios, fomentan la recuperación de energía de los desechos, reducen el uso de materiales vírgenes, restringen las opciones de eliminación final de desechos, promueven el reciclaje y la reutilización de desechos y fomentan la minimización de desechos. Las políticas y medidas para minimizar, reutilizar y reciclar desechos reducen indirectamente las emisiones de GEI derivadas de los desechos. Estas medidas incluyen Responsabilidad Extendida del Consumidor (REC), precio por unidad («quien contamina, paga») e impuestos sobre los vertederos. Otras medidas incluyen la recolección selectiva y eficiente de los desechos reciclables unida al precio por unidad y sistemas de impuestos sobre vertederos. Algunos países asiáticos fomentan la «economía circular» o la «sociedad del ciclo racional de materiales» como una estrategia nueva de desarrollo cuyo concepto central es el flujo circular (cerrado) de los materiales y el uso de materias primas y energía mediante múltiples fases. En la actualidad no se pueden calcular la eficacia mundial de estas estrategias para reducir las emisiones de GEI debido a la falta de datos, diferentes líneas bases y otras condiciones regionales (*acuerdo mediano, pruebas medianas*) [10.5].

En muchos países, las políticas de gestión de desechos y aguas residuales se vinculan estrechamente con las políticas y regulaciones del medio ambiente relativas a la calidad del aire,

agua y suelo, así como a las iniciativas de energías renovables. Los programas de energía renovable incluyen requisitos de generación de electricidad a partir de fuentes renovables, obligaciones para las empresas de servicios públicos de comprar la energía a suministradores pequeños de energía renovable, crédito de impuestos sobre la energía renovable e iniciativas de energía verde, las cuales permiten al consumidor escoger proveedores de energía renovable. En general, la descentralización de la capacidad de generación energética mediante la energía renovable puede incentivar la generación de electricidad a partir del CH₄ de vertederos y procesos térmicos de energía de desechos (*acuerdo alto, pruebas abundantes*)

Aunque los instrumentos políticos en el sector de desechos consisten principalmente en regulaciones, existen además, medidas económicas en algunos países para fomentar el uso de tecnologías específicas de gestión de desechos, reciclaje y minimización de desechos. Estas incluyen subvenciones de incineración o exenciones de impuestos para la energía de desechos. Los procesos térmicos pueden explotar al máximo el valor energético de los desechos generados pero deben incluir los controles de emisiones para disminuir las emisiones de contaminantes secundarios del aire. Se establecen subvenciones para la construcción de plantas de incineración en muchos países, generalmente combinadas con normas de eficiencia energética. Además, se aprobó la exención de impuestos para la energía generada por las plantas de incineración de desechos y de vertederos de desechos con recuperación de energía (*acuerdo alto, pruebas abundantes*) [10.5].

Los beneficios conjuntos de la recolección, transporte, reciclaje, tratamiento y eliminación eficaces y sostenibles de desechos y aguas residuales incluye la mitigación de GEI, la mejora de la salud pública, la conservación de los recursos hidrológicos y reducciones en los vertidos de contaminantes no tratados en aire, suelo y aguas superficiales y subterráneas. Como hay muchos ejemplos de plantas de desechos y aguas residuales abandonadas en los países en desarrollo, debe hacerse hincapié en el hecho de que un aspecto clave del desarrollo sostenible en la selección de tecnologías apropiadas que se puedan sustentar en el marco de una infraestructura local específica (*acuerdo alto, pruebas medianas*) [10.5].

Investigación, desarrollo y difusión tecnológica

En general, el sector de desechos se caracteriza por tecnologías maduras que necesitan difusión en los países en desarrollo. Los avances en desarrollo incluyen:

- Eliminación de desechos: Implementación de sistemas óptimos de recuperación de gas en una etapa inicial del desarrollo de los vertederos a fin de aumentar la eficacia a largo plazo de recolección de gas. Perfeccionamiento de la biodegradación (reactores biológicos) de vertederos que proporciona un mayor control del proceso y menor tiempo de vida de la degradación de desechos. Construcción de «cubiertas biológicas» de vertederos que mejoran la oxidación microbiana del CH₄ y NMVOC para reducir las emisiones.

- Procesos biológicos: En países en desarrollo, estrategias de menor tecnología, asequibles y sostenibles de compostaje y digestión anaerobia para los desechos biodegradables separados en la fuente.
- Procesos térmicos: tecnologías avanzadas de energía de desechos que suministran una eficacia térmica y eléctrica mayor que las plantas de incineración existentes (10–20% de eficacia eléctrica neta). Aumento de la combustión industrial mediante el uso de fuentes de alimentación de varias porciones de desechos para reemplazar los combustibles fósiles. Gasificación y pirólisis de porciones de desechos separados en la fuente unido a tecnologías de separación perfeccionadas y de bajo coste para producir combustibles y fuentes de alimentación.
- Reciclaje, reutilización, minimización de desechos, tratamientos previos (procesos perfeccionados de tratamiento mecánico y biológico): Innovaciones en las tecnologías de reciclaje y mejoras en los procesos como la disminución del uso de materiales vírgenes, conservación de la energía y reemplazo de los combustibles fósiles. Desarrollo de soluciones innovadoras de reciclaje con baja tecnología para los países en desarrollo.
- Aguas residuales: Nuevos diseños ecológicos de baja tecnología para mejorar el saneamiento al nivel doméstico y comunitario, que se puede implementar de manera sostenible para tratamientos eficientes a pequeña escala de aguas residuales y conservación del agua en países desarrollados y en desarrollo (*acuerdo alto, pruebas limitadas*) [10.5; 10.6].

Perspectiva a largo plazo, transiciones del sistema

Es importante preservar las opciones locales para una amplia gama de estrategias integradas y sostenibles de gestión a fin de minimizar las emisiones futuras de GEI del sector de desechos. Además, las reducciones primarias en la generación de desechos mediante el reciclaje, reutilización y minimización de desechos benefician considerablemente a la conservación de la materia prima y energía. A largo plazo, debido a que los vertederos continuarán produciendo CH₄ durante decenios, la recuperación del gas de vertedero se necesitará en los vertederos existentes incluso cuando muchos países cambien a tecnologías exentas de eliminación de desechos en vertederos tales como la incineración, combustión industrial, tratamiento mecánico y biológico, compostación a gran escala y digestión anaerobia. Por otra parte, el vertedero «respaldo» seguirá siendo un elemento importante en la planificación municipal de desechos sólidos. En los países en desarrollo, la inversión en el perfeccionamiento de la gestión de desechos y aguas residuales confiere rentabilidades importantes en la salud y seguridad públicas, protección del medio ambiente y desarrollo de infraestructuras.

11. La mitigación desde una perspectiva intersectorial

Opciones de mitigación entre sectores

Mientras muchas de las opciones tecnológicas, de conducta y políticas mencionadas en los Capítulos 4–10 tratan sectores

específicos, algunas tecnologías y políticas abarcan muchos sectores. Por ejemplo, el uso de biomasa y el cambio de combustibles con alto contenido de carbono a gas afectan el suministro energético, transporte, industria y edificios. Aparte de los potenciales de tecnologías tradicionales, estos ejemplos también muestran la posible competencia por recursos como el apoyo financiero y la I+D [11.2.1].

La compilación ascendente de los potenciales de mitigación en cada sector se complica debido a las interacciones entre sectores durante períodos de tiempo y entre regiones y mercados. Se utilizó una serie de procedimientos formales para eliminar doble conteo de los potenciales, tales como la reducción de la capacidad necesaria en el sector energético debido a ahorros de electricidad en los sectores industriales y de edificios. En este sentido, se necesita una integración de los potenciales de los sectores para resumir las evaluaciones de sectores de los Capítulos 4–10. La incertidumbre del resultado recibe la influencia de cuestiones comparables entre sectores como cálculos, diferencia de cobertura entre sectores (por ejemplo, el sector del transporte) y la adición, donde sólo se tuvo en cuenta las interacciones entre sectores más importantes y directas [11.3.1].

Las estimaciones descendentes se obtuvieron de escenarios de estabilización, por ejemplo, se dirige hacia la estabilización a largo plazo de la concentración atmosférica de GEI.

Los gráficos RT.26 y RT.27 muestran que las evaluaciones de sectores enfatizan las oportunidades de opciones sin excusas en muchos sectores, con un estimado de abajo hacia arriba en todos los sectores de aproximadamente 6 GtCO₂-eq en el año 2030, a un coste negativo. Esto significa un beneficio neto. Una inmensa porción de opciones «sin arrepentimiento» se encuentra en el sector de edificios. El total de las opciones de bajo coste específicas (opciones «sin arrepentimiento» y otras opciones con costes menores que 20 USD/tCO₂-eq) es aproximadamente 13 GtCO₂-eq (las oscilaciones se discuten debajo). Existen potenciales ascendentes adicionales de aproximadamente 6 y 4 GtCO₂-eq a costes adicionales de <50 y 100 USD/tCO₂-eq, respectivamente (*acuerdo mediano, pruebas medianas*) [11.3.1].

Estos estimados tienen varias calificaciones además de las ya mencionadas. En primer lugar, se excluyen de las estimaciones ascendentes un conjunto de opciones de reducción de emisiones, principalmente para la generación conjunta, partes del sector del transporte y opciones no técnicas como los cambios de conducta porque la literatura disponible no ofrece una evaluación confiable. Por tanto, se prevé que los potenciales ascendentes se sobreestimen en un 10–15%. En segundo lugar, los capítulos identifican un número de sensibilidades claves que no se cuantifican, relativas a los precios la energía, tasas de descuento y el ajuste de los resultados regionales de las opciones agrícolas y forestales. En tercer lugar, muchos países de EET y partes considerables de regiones que no pertenecen a la OCDE/EET sufren la falta de estimados [11.3.1].

Las estimaciones de potenciales para precios de carbono <20 USD/tCO₂-eq son menores que las estimaciones ascendentes

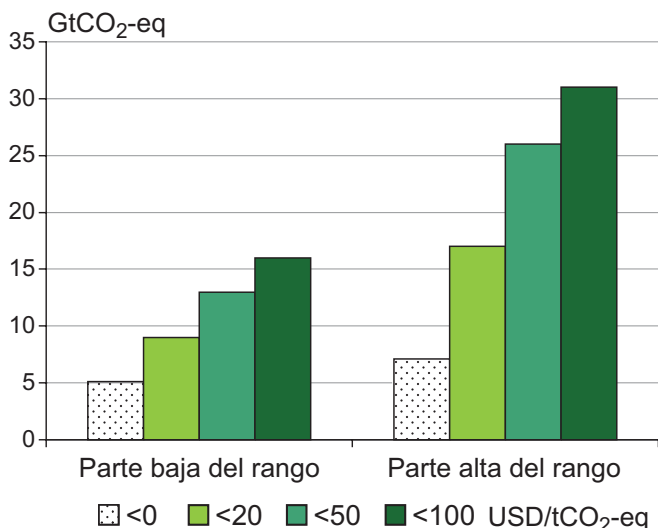


Gráfico RT.26A: Potencial económico mundial de mitigación en el año 2030 estimado a partir de estudios ascendentes. Datos de la Tabla RT.15 [Gráfico 11.3].

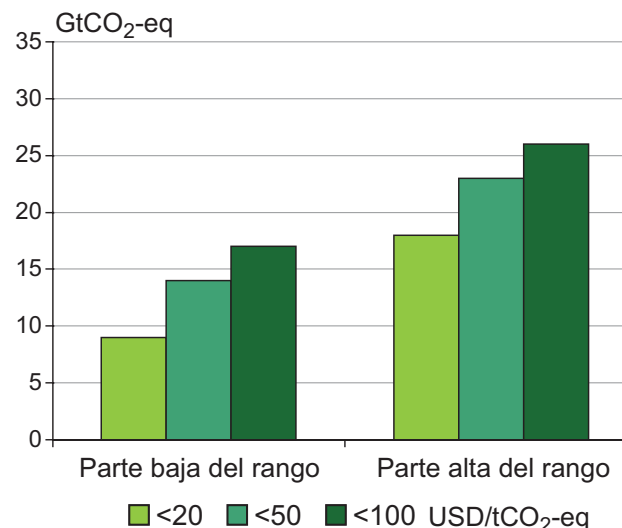


Gráfico RT.26B: Potencial económico mundial de mitigación en el año 2030 estimado a partir de estudios descendentes. Datos de la Tabla RT.16 [Gráfico 11.3].

del TAR que se evaluaron para precios de carbono <27 USD/tCO₂-eq debido a mejor información en la literatura reciente (*acuerdo alto, pruebas abundantes*).

Las Tablas RT.16 y 17 muestran que los potenciales ascendentes totales se pueden comparar con los potenciales de resultados de modelos descendentes del año 2030 según el Capítulo 3.

A nivel de sectores, existen grandes diferencias entre ascendentes y descendentes debidas principalmente a que las definiciones de los sectores en los modelos descendentes a menudo difieren de aquellas en las evaluaciones descendentes (Tabla RT.17). Aunque existen ligeras diferencias entre las líneas base de las evaluaciones descendentes y ascendentes, los resultados se asemejan y se puede estimar con solidez el potencial

económico total de mitigación en el año 2030. El potencial de mitigación para precios de carbono <100 USD/tCO₂-eq representa aproximadamente del 25–30% de las emisiones de línea de base en el año 2030 (*acuerdo alto, pruebas abundantes*).

La Tabla RT.17 muestra que si realizamos un análisis del punto de partida¹⁸ una gran parte del potencial de mitigación a largo plazo se ubica en el sector de suministro energético. Sin embargo, si realizamos un análisis de sector de uso final, como el utilizado en los resultados del gráfico RT.27, el potencial más alto corresponde a los sectores de edificios y agrícola. Las estimaciones de estudios descendentes son menores que las estimaciones de estudios ascendentes en los sectores agrícola y forestal. Esto se debe, generalmente, a que los modelos descendentes no cubren estos sectores. Las estimaciones de

Tabla RT.15: Potencial económico mundial de mitigación en el año 2030 estimado de estudios ascendentes [11.3].

Precio del carbono (USD/tCO ₂ -eq)	Potencial económico (GtCO ₂ -eq/año)	Reducción relativa a IE-EE A1 B (68 GtCO ₂ -eq/año) (%)	Reducción relativa a EI-EE B2 (49 GtCO ₂ -eq/año) (%)
0	5–7	7–10	10–14
20	9–17	14–25	19–35
50	13–26	20–38	27–52
100	16–31	23–46	32–63

Tabla RT.16: Potencial económico mundial de mitigación en el año 2030 estimado de estudios descendentes [11.3].

Precio del carbono (USD/tCO ₂ -eq)	Potencial económico (GtCO ₂ -eq/año)	Reducción relativa a IE-EE A1 B (68 GtCO ₂ -eq/año) (%)	Reducción relativa a EI-EE B2 (49 GtCO ₂ -eq/año) (%)
20	9–18	13–27	18–37
50	14–23	21–34	29–47
100	17–26	25–38	35–53

¹⁸ En un análisis del punto de partida, las emisiones del uso de la electricidad se ubican en el sector de suministro energético. En un análisis de sector de uso final, las emisiones de la electricidad se ubican en su respectivo sector de uso final (pertinente en el sector de edificios e industrial)

Tabla RT.17: Potencial económico de mitigación por sectores en el año 2030: comparación de estimaciones ascendentes (Tabla 11.3) y estimados descendentes (Sección 3.6) [Tabla 11.5].

C. del Informe	Sectores	Potencial basado en sectores («ascendentes») en el año 2030 (GtCO ₂ -eq/año)				Instantánea de un modelo amplio económico («descendentes») de mitigación para el año 2030 (GtCO ₂ -eq/año)	
		Distribución en sectores de uso final (distribución de los ahorros de electricidad en los sectores de uso final)		Distribución de emisiones desde el punto de partida (reducciones de emisiones derivadas de ahorros de electricidad de uso final distribuidas en el sector de suministro energético)		Bajo	Alto
		Precio del carbono <20 USD/tCO ₂ -eq					
		Bajo	Alto	Bajo	Alto	Bajo	Alto
4	Suministro y conversión de energía	1.2	2.4	4.4	6.4	3.9	9.7
5	Transporte	1.3	2.1	1.3	2.1	0.1	1.6
6	Edificios	4.9	6.1	1.9	2.3	0.3	1.1
7	Industria	0.7	1.5	0.5	1.3	1.2	3.2
8	Agricultura	0.3	2.4	0.3	2.4	0.6	1.2
9	Silvicultura	0.6	1.9	0.6	1.9	0.2	0.8
10	Desechos	0.3	0.8	0.3	0.8	0.7	0.9
11	Total	9.3	17.1	9.1	17.9	8.7	17.9
Precio del carbono <50 USD/tCO₂-eq							
4	Suministro y conversión de energía	2.2	4.2	5.6	8.4	6.7	12.4
5	Transporte	1.5	2.3	1.5	2.3	0.5	1.9
6	Edificios	4.9	6.1	1.9	2.3	0.4	1.3
7	Industria	2.2	4.7	1.6	4.5	2.2	4.3
8	Agricultura	1.4	3.9	1.4	3.9	0.8	1.4
9	Silvicultura	1.0	3.2	1.0	3.2	0.2	0.8
10	Desechos	0.4	1.0	0.4	1.0	0.8	1.0
11	Total	13.3	25.7	13.2	25.8	13.7	22.6
Precio del carbono <100 USD/tCO₂-eq							
4	Suministro y conversión de energía	2.4	4.7	6.3	9.3	8.7	14.5
5	Transporte	1.6	2.5	1.6	2.5	0.8	2.5
6	Edificios	5.4	6.7	2.3	2.9	0.6	1.5
7	Industria	2.5	5.5	1.7	4.7	3.0	5.0
8	Agricultura	2.3	6.4	2.3	6.4	0.9	1.5
9	Silvicultura	1.3	4.2	1.3	4.2	0.2	0.8
10	Desechos	0.4	1.0	0.4	1.0	0.9	1.1
11	Total	15.8	31.1	15.8	31.1	16.8	26.2

Fuentes: Tablas 3.16, 3.17 y 11.3.

Véanse las notas de las Tablas 3.16, 3.17 y 11.3 y Anexo 11.1.

los sectores de suministro energético e industrial de modelos descendentes son mayores que los de evaluaciones ascendentes (*acuerdo alto, pruebas medianas*) [11.3.1].

Las opciones bioenergéticas son importantes en muchos sectores en el año 2030 y presentan un potencial de crecimiento futuro considerable, aunque no se dispone de estudios integrados completos del equilibrio de la oferta-demanda. El desarrollo de la capacidad de biomasa (cultivos energéticos) en equilibrio con la inversión en prácticas agrícolas, la capacidad de logística y mercados, unido a la comercialización de la producción de

biocombustibles de segunda generación representan condiciones previas de tales aportes. La producción y uso sostenible de biomasa asegura que las cuestiones relativas a la competencia por tierra y alimentos, recursos hídricos, biodiversidad e impactos socioeconómicos no creen obstáculos (*acuerdo alto, pruebas limitadas*) [11.3.1.4].

Además de las opciones de mitigación mencionadas en los capítulos 4–10, se proponen las soluciones de geoingeniería para tratar el efecto invernadero intensificado. Sin embargo, las opciones para eliminar el CO₂ directamente del aire, por

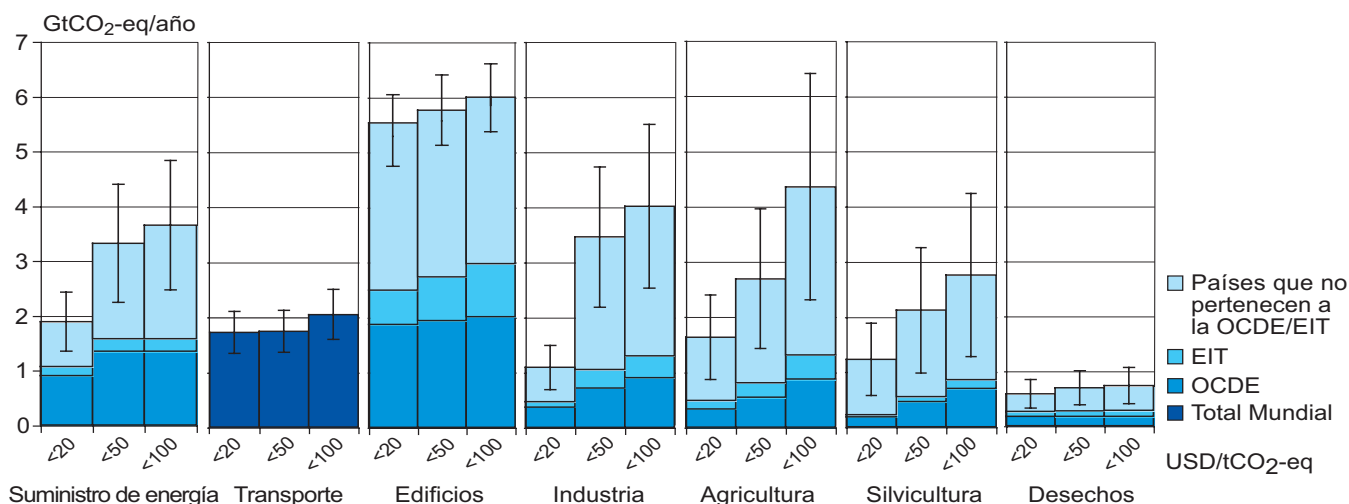


Gráfico RT.27: Estimaciones del potencial económico entre sectores de mitigación mundial en diferentes regiones en función del precio del carbono en el año 2030 de estudios ascendentes, comparados con las líneas base respectivas de las evaluaciones del sector. Una explicación completa de este gráfico se puede encontrar en 11.3.

Notas:

1. Las líneas verticales muestran los intervalos de los potenciales económicos mundiales según las evaluaciones en cada sector. Los intervalos se basan en distribuciones de uso final de las emisiones, esto significa que las emisiones de la electricidad se cuentan en el sector de uso final y no en el sector de suministro energético.
2. La poca disponibilidad de estudios a niveles altos de precio del carbono dificulta la estimación de los potenciales.
3. Los sectores utilizan líneas de base diferentes. En la industria se ha utilizado la línea de base del IE-EE B2, para el suministro energético y transporte ha utilizado la línea de base de la OME 2004. El sector de edificios se ha basado en una línea de base entre el IE-EE B2 y el A1B. El sector de desechos utilizó las fuerzas impulsoras del IE-EE A1B para construir una línea de base específica de desechos. La agricultura y silvicultura utilizaron líneas de base que usan la mayoría de las fuerzas impulsoras del B2.
4. Solamente se muestran los totales mundiales del transporte porque se ha incluido la aviación internacional [5.4].
5. Se excluyen las siguientes categorías: emisiones exentas de CO₂ en el sector de edificios y transporte, parte de las opciones de eficacia de materiales, producción térmica y cogeneración de suministro energético, vehículos pesados, transporte marítimo y de muchos pasajeros, la mayoría de las opciones de alto coste para los edificios, tratamiento de aguas residuales, reducción de emisiones de minas de carbón y gaseoductos, gases fluorinados del suministro de energía y transporte. El valor sobreestimado del potencial económico total de estas emisiones es del orden del 10–15%.

ejemplo, mediante la fertilización por hierro de los océanos o mediante el bloqueo de la luz solar, son especulaciones y puede que tengan riesgos de efectos secundarios desconocidos. El bloqueo de la luz solar no afecta el aumento previsto de los niveles atmosféricos de CO₂, pero puede reducir o eliminar el calentamiento asociado. Esta desvinculación entre la concentración de CO₂ y la temperatura terrestre mundial tendría consecuencias beneficiosas, por ejemplo, al aumentar la productividad de la agricultura y la silvicultura (hasta donde la fertilización por CO₂ es eficaz) pero no mitigan o tratan otros impactos tales como la acidificación futura de los océanos. Los detalles de los costes estimados de estas opciones no se han publicado y no tienen un marco institucional de implementación (*acuerdo mediano, pruebas limitadas*) [11.2.2].

Costes de mitigación entre sectores y costes macroeconómicos

Se estima que los costes de implementación del Protocolo de Kyoto son mucho menores que las estimaciones del TAR debido a que Estados Unidos rechazó el Protocolo. Si se usan todos los mecanismos flexibles del Protocolo de Kyoto, se estima que los costes sean menores que 0,05% del PIB del Anexo B (sin Estados Unidos) (TAR Anexo B: 0,1–1,1%) Sin mecanismos flexibles, se estima que los costes sean menores que 0,1% (TAR 0,2%) (*acuerdo alto, pruebas abundantes*) [11.4].

Se evaluaron estudios de modelos de mitigación posterior al año 2012 en relación con sus efectos mundiales para disminuir el CO₂ en el año 2030, los precios necesarios del carbono y sus efectos sobre el PIB o PNB (para los efectos a largo plazo de la estabilización después del año 2030 véase el Capítulo 3). Los estudios indican, para las vías categoría IV¹⁹ (estabilización a aproximadamente 650 ppm CO₂-eq) con una disminución de CO₂ de menos del 20% por debajo de la línea de base y precios del carbono de hasta 25 USD/tCO₂, que el producto interno bruto sería de, en el peor de los casos, 0,7% por debajo de la línea de base en el año 2030. Esto se corresponde con la media de 0,2% y 10–90 del margen de percentil de –0,6 a 12% en todos los escenarios del Capítulo 3.

Los efectos son más inciertos en las vías rígidas de la categoría III (estabilización a aproximadamente 550 ppm CO₂-eq) con una disminución de CO₂ de menos del 40% y precios del carbono de hasta 50 USD/tCO₂-eq. La mayoría de los estudios indican costes de menos del 1% del producto mundial bruto que se corresponde con la media de 0,6% y 10–90 del margen de percentil de 0 a 25% para todos los escenarios del Capítulo 3. Nuevamente, las estimaciones dependen de enfoques y suposiciones. Los pocos estudios con líneas de base que necesitan mayores reducciones de CO₂ para lograr los objetivos requieren precios más altos del carbono y la mayoría indica costes más altos de PIB. En los estudios de las categorías

¹⁹ Véase el Capítulo 3 para la definición de las vías de la Categoría III y IV.

I y II (estabilización entre 445 y 535 ppm CO₂-eq) los costes son menores que el 3% del PIB, pero la cantidad de estudios es pequeña y utilizan líneas de base bajas.

Las estimaciones más bajas de los estudios evaluados en este informe, comparados con todos los estudios del Capítulo 3, se deben principalmente a una gran parte de estudios que permite políticas de perfeccionamiento de la innovación tecnológica, especialmente escenarios de mitigación más rígidos (*acuerdo alto, pruebas medianas*) [11.4].

Todos los enfoques indican que un sector o tecnología por sí solo no es capaz de tratar con éxito el reto de la mitigación. Esto sugiere la necesidad de una carpeta de varios criterios. Las evaluaciones descendentes coinciden con los resultados ascendentes al indicar que precios del carbono de aproximadamente 20–50 USD/tCO₂-eq (73–183 USD/tC-eq) son suficientes para provocar un cambio de combustible a gran escala y convertir a la CAC y las fuentes energéticas con bajo contenido de carbono en económicas mientras las tecnologías maduran. Los incentivos de este tipo podrían desempeñar una función importante en la prevención de la deforestación. Los diferentes modelos a corto y largo plazos arrojan estimados diferentes. Estas variaciones se explican principalmente mediante enfoques y suposiciones relativas al uso de ingresos derivados de los impuestos o permisos del carbono, tratamiento del cambio tecnológico, grado de sostenibilidad entre productos comercializados a nivel internacional y la desagregación de productos y mercados regionales (*acuerdo alto, pruebas abundantes*) [11.4, 11.5, 11.6].

El desarrollo del precio del carbono y la correspondiente reducción de las emisiones determinarán el nivel al cual se pueden estabilizar las concentraciones atmosféricas de GEI. Los modelos indican que un aumento gradual y continuo previsto en el precio del carbono de 20–50 USD/tCO₂-eq en el año 2020–2030 se corresponde con la estabilización de la categoría III (550 ppm CO₂-eq). En la Categoría IV (650 ppm CO₂-eq) tal nivel de precio se puede alcanzar después de 2030. Para una estabilización a niveles entre 450 y 550 ppm CO₂-eq, se necesitan precios del carbono de hasta 100 USD/tCO₂-eq, aproximadamente, para el 2030 (*acuerdo mediano, pruebas medianas*) [11.4, 11.5, 11.6].

En todos los casos, las vías a corto plazo para niveles bajos de estabilización, especialmente en la Categoría III y las siguientes, necesitarán medidas adicionales relativas a la eficiencia energética, suministro energético con bajo contenido de carbono, otras acciones de mitigación y la prevención de la inversión en acciones de capital de larga vida con alto contenido de carbono. Los estudios de toma de decisiones bajo incertidumbres enfatizan la necesidad de acciones tempranas, principalmente en la infraestructura de larga vida u otras acciones de capital. Se prevé que sólo la infraestructura del sector energético (incluidas las plantas energéticas) necesite al menos 20 billones de USD en inversiones en el año 2030 y las opciones de estabilización se reducirán debido a la naturaleza e intensidad de carbono de esta inversión. Las estimaciones

iniciales para escenarios con bajo contenido de carbono muestran una gran redirección de las inversiones, con inversiones nuevas adicionales que oscilan desde insignificantes hasta menos del 5% (*acuerdo alto, pruebas abundantes*) [11.6].

Con relación al análisis de carpeta de acciones gubernamentales, el consenso general indica que elaborar una carpeta de opciones para equilibrar las reducciones de las emisiones entre los sectores de manera que parezca equitativo (por ejemplo, mediante un por ciento de reducción equitativo) probablemente sea más costoso que un enfoque de rentabilidad. Las carpetas de opciones energéticas entre los sectores que incluyen tecnologías con bajo contenido de carbono reducirán los costes y riesgos porque se prevé que los precios de los combustibles fósiles sean más volátiles que los costes de las alternativas, además de los beneficios de la diversificación. Un segundo descubrimiento indica que los costes se reducirán si se combinan las opciones que enmiendan los dos fallos en el mercado provocados por daños del cambio climático y los beneficios de la innovación tecnológica. Por ejemplo, al reciclar los ingresos de la venta de permisos para apoyar las innovaciones con eficiencia energética y bajo contenido de carbono (*acuerdo alto, pruebas medianas*) [11.4].

Cambio tecnológico entre sectores

Un desarrollo importante desde el TAR lo constituye la inclusión de muchos modelos descendentes de cambio tecnológico endógeno. Mediante el uso de enfoques diferentes, los estudios de modelos indican que el cambio tecnológico endógeno puede reducir considerablemente los precios del carbono así como los costes de PIB, en comparación con la mayoría de los modelos en uso en el momento del TAR (cuando el cambio tecnológico se incluía en la línea de base y era independiente de las políticas de acción y mitigación). Los estudios sin cambio tecnológico inducido muestran que el aumento de los precios del carbono de 20 a 80 USD/tCO₂-eq en el año 2030 y de 30 a 155 USD/tCO₂-eq en el año 2050 se corresponden con la estabilización a aproximadamente 550 ppm CO₂-eq en el año 2010. En el mismo nivel de estabilización, los estudios desde el TAR que tienen en cuenta el cambio tecnológico inducido bajan estos precios de 5 a 65 USD/tCO₂-eq en el año 2030 y de 15 a 130 USD/tCO₂-eq en 2050. El grado hasta dónde se reducen los costes depende en gran medida de las suposiciones sobre los resultados de los gastos de I+D de la mitigación del cambio climático, fugas entre sectores y regiones, otras opciones de I+D y modelos que incluyan experiencia y tasas de aprendizaje (*acuerdo alto, pruebas abundantes*) [11.5].

Los cambios tecnológicos más importantes como la captura y almacenamiento de carbono, energía renovable avanzada, energía nuclear avanzada e hidrógeno necesitan una transición prolongada mientras se acumula experiencia y se expanden los mercados. Por tanto, las mejoras de la eficacia de uso final ofrecen oportunidades más importantes a corto plazo. Una porción relativamente alta del sector de edificios e industrial muestra estas mejoras en los potenciales de 2030

(Tabla RT.17). Otras opciones y sectores podrán desempeñar una función importante en la segunda mitad del siglo (véase Capítulo 3) (*acuerdo alto, pruebas abundantes*) [11.6].

Efectos de fuga de la mitigación en países del Anexo I y países no incluidos en el Anexo I

Los efectos de fuga de mitigación desde una perspectiva intersectorial son efectos de políticas y medidas de mitigación de un país o grupo de países en sectores de otro país. Un aspecto de la fuga es la llamada «fuga de carbono»: aumento de las emisiones de CO₂ fuera de los países que toman medidas nacionales dividido por la reducción de emisiones dentro de esos países. El indicador de fuga de carbono no cubre por sí solo la complejidad y gama de efectos, que incluyen cambios en el patrón y magnitud de las emisiones globales. Los estudios de modelos suministran amplios resultados sobre fugas de carbono en dependencia de cómo asumen la escala, conducta en la industria con consumo intensivo de energía, fluctuaciones del mercado y otros factores. Al igual que en el TAR, las estimaciones de la fuga de carbono derivados de la implementación del Protocolo de Kyoto oscilan generalmente entre 5–20% en el año 2010. Estudios empíricos sobre las industrias con consumo intenso de energía con excepciones bajo el Esquema de Comercio de Emisiones (ENE) indican que los costes del transporte, condiciones del mercado local, variedad de productos e información incompleta favorecen la producción local y concluyen que es improbable que la fuga de carbono sea considerable (*acuerdo mediano, pruebas medianas*) [11.7].

Se estudiaron los efectos de las acciones de mitigación existentes sobre la competencia. Las pruebas empíricas indican que la pérdida de competencia en los países que ejecutan el Protocolo de Kyoto no es importante. Esto confirma un descubrimiento del TAR. El beneficio potencial de la transferencia de tecnología en los países desarrollados derivado del desarrollo tecnológico realizado por las acciones del Anexo I puede ser importante en las industrias con consumo intenso de energía pero aún no se ha cuantificado de manera confiable (*acuerdo mediano, pocas pruebas*) [11.7].

Quizás una de las formas más importantes en que las fugas de acciones de mitigación en una región afecte otras es mediante el efecto sobre los precios mundiales del combustible fósil. Cuando una región reduce su demanda de combustible fósil debido a políticas de mitigación, reducirá a su vez la demanda mundial de ese producto y bajará la presión en los precios. Dependiendo de la respuesta de los productores, disminuirán o no los precios de combustibles fósiles, petróleo, gas o carbón y esto provoca una pérdida de ingresos para los productores y costes bajos de importación para los consumidores. Al igual que el TAR, casi todos los estudios de modelos que se analizaron muestran efectos adversos más pronunciados en los países productores de petróleo que en la mayoría de los países del Anexo I que implementan medidas de eliminación. Las estrategias de protección de los precios del petróleo pueden limitar las pérdidas de ingresos en los países productores de petróleo (*acuerdo alto, pruebas limitadas*) [11.7].

Beneficios conjuntos de la mitigación

Muchos estudios recientes demuestran beneficios considerables de las estrategias de mitigación de carbono sobre la salud humana, principalmente porque también reducen otras emisiones aerotransportadas, por ejemplo, SO₂, NO_x y materias de partículas. Se prevé que esto tenga resultados en la prevención de decenas de miles de muertes prematuras en países de Asia y América Latina anualmente y varios miles en Europa. Sin embargo, la amonediación de los riesgos de mortalidad es aún controversial y por tanto, se puede encontrar en la literatura una amplia gama de estimados de beneficios. Sin embargo, todos los estudios concuerdan en que los beneficios amonediados para la salud humana pueden compensar una fracción considerable de los costes de mitigación (*acuerdo alto, pruebas abundantes*) [11.8].

Además, se estimaron los beneficios de las emisiones evitadas de contaminantes del aire en la producción agrícola y el impacto de la lluvia ácida en los ecosistemas naturales. Tales beneficios a corto plazo proporcionan las bases para una política de no arrepentimiento en la reducción de GEI, en donde las ventajas aumentan aún si el impacto del cambio climático inducido por los seres humanos resulta menor que los previsto en las proyecciones actuales. La inclusión de beneficios conjuntos diferentes a los de la salud humana y la producción agrícola (por ejemplo, aumento de la seguridad energética y empleos) aumentaría el ahorro de costes (*acuerdo alto, pruebas limitadas*) [11.8].

La nueva literatura indica que tratar el cambio climático y la contaminación del aire simultáneamente mediante un conjunto sencillo de medidas y políticas ofrece reducciones potencialmente altas en los costes del control de la contaminación del aire. Se necesita un enfoque integrado para tratar estos contaminantes y procesos por los cuales existen las compensaciones recíprocas. Este es, por ejemplo, el caso del control de NO_x en vehículos y plantas de ácido nítrico, que aumentarían las emisiones de N₂O o el aumento del uso de vehículos de diesel con eficiencia energética los cuales emiten materia de partículas relativamente más finas que sus equivalentes de gasolina (*acuerdo alto, pruebas abundantes*) [11.8].

Adaptación y mitigación

Pueden existir sinergias o compensaciones recíprocas entre opciones de políticas que pueden apoyar la adaptación y mitigación. El potencial de sinergia es alto para las opciones de energía de biomasa, gestión de los usos del territorio y otros enfoques de gestión de la tierra. Las sinergias entre la mitigación y adaptación pueden proporcionar una contribución única en el desarrollo rural, principalmente en los países menos desarrollados: muchas acciones centradas en la gestión sostenible de recursos naturales proporcionarían beneficios de adaptación considerables y beneficios de mitigación, principalmente en forma de secuestro de carbono. Sin embargo, en otros casos existen compensaciones recíprocas, tales como el crecimiento de cultivos energéticos que pueden afectar el suministro de alimentos y la cubierta forestal y, por tanto, aumenta la vulnerabilidad a los impactos del cambio climático (*acuerdo mediano, pruebas limitadas*) [11.9].

12. Desarrollo sostenible y mitigación

Relación entre el desarrollo sostenible y la mitigación del cambio climático

La Comisión Mundial de Medio Ambiente y Desarrollo aprobó el concepto de desarrollo sostenible y existe el acuerdo de que el desarrollo sostenible implica un enfoque integrado y extenso de los procesos económicos, sociales y del medio ambiente. Sin embargo, los debates sobre el desarrollo sostenible se centran principalmente en las dimensiones económicas y del medio ambiente. La importancia de los factores sociales, políticos y culturales se empieza a reconocer en la actualidad. La integración es esencial a fin de articular trayectorias de desarrollo sostenibles, incluida la evaluación del cambio climático [12.1].

Aunque aún en etapas tempranas, aumenta el uso de indicadores para medir y gestionar la sostenibilidad del desarrollo a niveles macroeconómicos y de sector, que se impulsa por el aumento del énfasis en la responsabilidad en el contexto de iniciativas gubernamentales y de estrategias. Al nivel sectorial, la industria y los gobiernos comienzan a medir el progreso hacia un desarrollo sostenible a través de certificados verdes, herramientas de supervisión o registros de emisiones. La revisión de los indicadores muestra, sin embargo, que pocos macro indicadores incluyen medidas de progreso relativas al cambio climático (*acuerdo alto, pruebas abundantes*) [12.1.3].

El cambio climático recibe la influencia no sólo de políticas climáticas específicas que se ponen en práctica (el «primer enfoque climático»), sino de la mezcla de opciones de desarrollo que se haga y de las trayectorias que tracen estas políticas (el «desarrollo del primer enfoque») – un punto reforzado por un análisis mundial de escenarios publicado desde el TAR. Un aporte importante a los objetivos climáticos es convertir el desarrollo en más sostenible mediante el cambio de las vías de desarrollo. Es importante, sin embargo, darse cuenta que cambiar las vías de desarrollo no es escoger un mapa de vía sino navegar a través de un paisaje que evoluciona (*acuerdo mediano, pruebas abundantes*) [12.1.1].

Se especula que el desarrollo sostenible podría disminuir la vulnerabilidad de todos los países y principalmente de los países en desarrollo, a los impactos del cambio climático. El hecho de enmarcar el debate como un problema de desarrollo en vez de un problema del medio ambiente contribuye a analizar mejor los objetivos inmediatos de todos los países, principalmente de los países en desarrollo y su vulnerabilidad especial al cambio climático, mientras que al mismo tiempo se tratan las fuerzas controladoras de emisiones vinculadas a la vía subyacente de desarrollo [12.1.2].

Lograr un desarrollo más sostenible

La toma de decisiones sobre el desarrollo sostenible y la mitigación del cambio climático ya no se limitan solamente a los gobiernos. La literatura reconoce el cambio hacia un concepto de gobierno más abarcador, que incluye el aporte de varios niveles de gobierno, el sector privado, funcionarios no

gubernamentales y la sociedad civil. Mientras más cuestiones del cambio climático se analicen como parte de la perspectiva de planificación al nivel de implementación apropiado y, cuanto más se involucren todas las partes pertinentes en la toma de decisiones, es más probable que se logren los objetivos deseados (*acuerdo alto, pruebas abundantes*) [12.2.1].

Relativo a los gobiernos, un conjunto de teorías políticas identifica y explica la existencia de estilos de políticas nacionales o culturas políticas. La suposición subyacente de este informe es que los países individuales procesan sus problemas de manera específica, sin tener en cuenta la diferencia o característica especial de cualquier problema específico; una forma de hacer las cosas nacional. Además, la capacidad institucional de gobiernos para implementar instrumentos afecta a la elección de instrumentos políticos. Esto implica que la mezcla preferida de decisiones de políticas y su eficacia en términos de desarrollo sostenible y mitigación del cambio climático dependen de las características nacionales (*acuerdo alto, pruebas abundantes*). Sin embargo, nuestra comprensión sobre qué tipos de políticas tendrá mejor efecto en países con características nacionales particulares sigue siendo incompleta [12.2.3].

El sector privado es un factor central en la dirección ecológica y sostenible. Durante los últimos 25 años, ha existido un aumento progresivo en la cantidad de empresas que toman medidas para tratar cuestiones de sostenibilidad a niveles de firmas o industrias. Aunque existen progresos, el sector privado tiene capacidad para desempeñar una función más amplia a fin de lograr un desarrollo más sostenible si crece su conciencia sobre los beneficios que esto le pueda aportar (*acuerdo mediano, pruebas medianas*) [12.2.3].

Los grupos de ciudadanos desempeñan una función importante a la hora de estimular el desarrollo sostenible y su acción es determinante cuando se implementan las políticas de desarrollo sostenible. Además de poner en práctica proyectos de desarrollo sostenible, los ciudadanos pueden impulsar reformas de política mediante el aumento de la conciencia, defensa y discusión. También pueden pulir las acciones políticas supliendo las brechas y suministrando servicios de política, incluyendo las áreas de innovación de políticas, supervisión e investigación. Las interacciones pueden adoptar la forma de sociedades o existir mediante diálogos entre las partes que proporcionen a los grupos de ciudadanos un nivel de presión sobre los gobiernos e industrias (*acuerdo alto, pruebas medianas*) [12.2.3].

Las asociaciones deliberativas públicas y privadas trabajan con más eficacia cuando los inversores, gobiernos locales y grupos de ciudadanos desean trabajar en equipo para implementar nuevas tecnologías y proporcionar espacios para debatir tales tecnologías que incluyen los aspectos locales (*acuerdo alto, pruebas abundantes*) [12.2.3].

Implicaciones de las opciones de desarrollo en la mitigación del cambio climático

En un mundo heterogéneo, la comprensión de las diferentes condiciones y prioridades regionales es esencial para encauzar

las políticas del cambio climático hacia estrategias de desarrollo sostenible. Estudios de casos de regiones y países específicos demuestran que diferentes vías de desarrollo y políticas pueden lograr reducciones ostensibles de emisiones, dependiendo de la capacidad para alcanzar los objetivos de la sostenibilidad y el cambio climático [12.3].

En los países industrializados, el cambio climático se considera aún un problema separado del medio ambiente que se analiza con políticas de cambio climático específicas. En los países industrializados no se ha iniciado un debate social principal y amplio sobre la implicación de las vías de desarrollo en el cambio climático en general y en la mitigación del cambio climático en particular. Las áreas con prioridades de mitigación en los países de este grupo pueden ser la eficiencia energética, energía renovable, CAC, etc. Sin embargo, las vías de emisiones bajas no sólo se aplican en las opciones energéticas. En algunas regiones, el desarrollo de los usos del territorio, principalmente la expansión de infraestructuras, se identifica como una variable clave que determina las emisiones futuras de GEI [12.2.1; 12.3.1].

Las economías en transición ya no existen como un solo grupo. No obstante, Europa central y oriental y los países de Europa oriental, el Cáucaso y Asia central (EOCAC) comparten características similares en el desarrollo socioeconómico y en la mitigación del cambio climático y el desarrollo sostenible. Las medidas para desvincular el crecimiento económico y las emisiones serían importantes para este grupo [12.2.1, 12.3.1].

Se prevé que algunos países en desarrollo de gran territorio aumenten las emisiones a un tasa más rápida que en el mundo industrializado y el resto de los países en desarrollo ya que se encuentran en una etapa de rápida industrialización. En estos países, las políticas de mitigación del cambio climático y desarrollo sostenible se pueden complementar entre sí. Sin embargo, recursos adicionales financieros y tecnológicos aumentarían su capacidad de lograr una vía de desarrollo con bajo contenido de carbono [12.2.1, 12.3.1].

La mayoría del resto de estos países tienen bajas capacidades de adaptación y mitigación y el desarrollo puede reducir su vulnerabilidad al cambio climático. El desarrollo también puede reducir el crecimiento de las emisiones si se tratan los problemas de seguridad y el acceso energéticos. El MDL proporciona recursos financieros para tales desarrollos. Los Miembros de la Organización de los Países Exportadores de Petróleo (OPEP) son únicos en el sentido en que se pueden ver afectados adversamente por las vías de desarrollo que reducen la demanda de combustibles fósiles. La diversificación de sus economías tiene un punto principal en el orden del día [12.1.1, 12.3.1].

Los estudios de casos analizan cómo los cambios en las vías de desarrollo a nivel sectorial reducen o (pueden) reducir las emisiones (*acuerdo alto, pruebas medianas*) [12.2.4]:

- Las emisiones de GEI reciben la influencia del desarrollo económico, pero no se vinculan solamente al mismo: las opciones políticas pueden constituir la diferencia.
- Los sectores donde la producción eficiente está muy lejos

del máximo de producción posible con la misma cantidad de entrada, es decir, sectores que están lejos de su límite de producción, tienen oportunidades para adoptar políticas que aportan múltiples beneficios, que son: políticas que liberan los recursos y alzan el crecimiento, satisfacer otros objetivos de desarrollo sostenible y además, reducir las emisiones de GEI relativas a la línea de base.

- Los sectores donde la producción se acerca al consumo óptimo disponible – por ejemplo, sectores que están cerca del límite de producción- también tienen oportunidades para reducir las emisiones al lograr otros objetivos del desarrollo sostenible. Sin embargo, mientras más cerca se está del límite de producción, es probable que aparezcan más compensaciones recíprocas.
- Lo importante no es sólo que una «buena» opción se elabore en un momento determinado sino que la política inicial se mantenga por largo tiempo – a menudo varios decenios- para que tenga efectos.
- A menudo no se trata de una decisión de política sino de un conjunto de decisiones para influir sobre las emisiones. Esto conduce al problema de la coordinación entre políticas en varios sectores y a varias escalas.

La generalización exige que las políticas no climáticas, programas y/o acciones individuales consideren el cambio climático en países desarrollados y en desarrollo. Sin embargo, la inclusión del cambio climático en una agenda política ya existente es improbable que tenga éxito. La facilidad o dificultad con que se logre convertir en tendencia principal dependerá de las tecnologías o prácticas de mitigación y de la vía subyacente de desarrollo. Poner en una balanza otros beneficios del desarrollo frente a los beneficios climáticos constituye una base clave para escoger los sectores de desarrollo destinados a generalizarse. Por ejemplo, las decisiones sobre políticas macroeconómicas, políticas agrícolas, desarrollo de préstamos bancarios multilaterales, prácticas relacionadas con seguros, reformas del mercado energético, seguridad energética y conservación de bosques, que a menudo se tratan como partes separadas de las políticas climáticas, pueden tener impactos profundos en las emisiones, la dimensión de la mitigación necesaria y los costes y beneficios que resulten. Sin embargo, en algunos casos, al igual que cambiar las estufas de cocción de bioma por gas de petróleo líquido (GPL) en zonas rurales de países en desarrollo, podría ser racional no tener en cuenta las consideraciones del cambio climático debido al pequeño aumento de las emisiones comparado con los beneficios de desarrollo (véase la Tabla RT.18) (*acuerdo alto, pruebas abundantes*) [12.2.4].

En términos generales, existe un alto nivel de acuerdo en los hallazgos cualitativos en este capítulo sobre los vínculos entre la mitigación y el desarrollo sostenible: los dos se vinculan y se pueden identificar las sinergias y compensaciones recíprocas. Sin embargo, la literatura sobre los vínculos y específicamente, sobre cómo se pueden poner en acción estos vínculos a fin de capturar sinergias y evitar compensaciones recíprocas, todavía es escasa. Lo mismo se aplica en la dirección de buenas prácticas para integrar las consideraciones del cambio climático en políticas no climáticas pertinentes, incluidos análisis de funciones de diferentes actores. La elaboración de vías posibles de desarrollo

Tabla RT.18: Reorientación del cambio climático hacia opciones de desarrollo-selección de ejemplos [Tabla 12.3].

Sectores seleccionados	Instrumentos políticos no climáticos y acciones que se pueden reorientar	Principales responsables de decisiones y acciones	Emisiones mundiales de GEI por sector que se pueden tratar con políticas no climáticas (% de las emisiones mundiales de GEI) ^{a, d}		Comentarios
Macroeconomía	Implementar impuestos/ subvenciones y/o otras políticas reguladoras fiscales no climáticas que fomenten el DS	Estado (gobiernos a todos los niveles)	100	Emisiones mundiales totales de GEI	Se puede usar una combinación de políticas no climáticas económicas, reguladoras y de infraestructura para tratar la emisiones mundiales totales.
Silvicultura	Adopción de prácticas de conservación forestal y gestión sostenible	Estado (gobiernos a todos los niveles) y sociedad civil (ONG)	7	Emisiones de GEI de la deforestación	Las leyes/regulaciones que detengan la deforestación, perfeccionen la gestión de bosques y proporcionen sustentos alternativos pueden reducir las emisiones de GEI y brindar otros beneficios al medio ambiente.
Electricidad	Adopción del uso de energías renovables rentables, programas de gestión de demanda y reducción de las pérdidas de transmisión y distribución	Estado (comisiones reguladoras), mercado (empresas de servicios públicos) y sociedad civil (ONG, grupos de consumidores)	20 ^b	Emisiones de CO ₂ del sector de la electricidad (exclusión de auto productores)	Las políticas no climáticas pueden abordar el aumento de la generación de electricidad con intensidad de GEI que constituye una preocupación mundial.
Importaciones de petróleo	Diversificación de la mezcla de combustible importada y nacional y reducción de la intensidad energética de la economía para mejorar la seguridad energética	Estado y mercado (industria de combustibles fósiles)	20 ^b	Emisiones de CO ₂ asociadas con las importaciones mundiales de petróleo crudo y productos	Se puede lograr una diversificación de las fuentes energéticas para tratar cuestiones de seguridad del petróleo de manera que no aumenten las emisiones de GEI.
Energía rural en países en desarrollo	Políticas para fomentar el uso de GPL, keroseno y electricidad para cocinar en las zonas rurales	Estado y mercado (empresas de servicios públicos y empresas petroleras) sociedad civil (ONG)	<2 ^c	Emisiones de GEI de biomasa, uso de combustibles, se excluyen los aerosoles	La biomasa que se usa para cocinar en zonas rurales provoca impactos en la salud debido a la contaminación del aire interior y la liberación de aerosoles. El reemplazo de toda la biomasa utilizada para cocinar en zonas rurales por GPL emitiría 0.70 GtCO ₂ -eq., una cantidad relativamente modesta comparada con el total de emisiones mundiales de GEI en el año 2004.
Seguros para los sectores del transporte y edificios	Primas diferenciadas, exclusiones de obligaciones de seguros, perfeccionamiento de términos para los productos verdes	Estado y mercado (compañías de seguro)	20	Emisiones de GEI de los sectores del transporte y edificios	Escalar los daños provocados por el cambio climático constituye una preocupación para la industria del seguro. Las políticas mencionadas en este informe pueden abordar las problemas de la industria del seguro.
Financiación internacional	Estrategias de países y sectores y proyectos de préstamos que reduzcan las emisiones	Estado (instituciones financieras internacionales) y mercado (bancos comerciales)	25 ^b	Emisiones de CO ₂ de los países en desarrollo (no incluidos en el Anexo I)	Las instituciones financieras internacionales pueden adoptar prácticas para evitar que los países en desarrollo obtengan préstamos a fin de realizar proyectos con emisiones intensas de GEI lo cual causaría el efecto cerrojo en la emisiones.

Notas:

- Datos del Capítulo 1 a menos se indique lo contrario.
- Emisiones de CO₂ de combustibles fósiles solamente; OIE (2006).
- Emisiones de CO₂ solamente. Estimado de los autores, véase texto.
- Las emisiones indican la importancia relativa de los sectores en el año 2004. Las emisiones de los sectores no se excluyen entre sí, se superponen y adicionan y esta suma supera las emisiones mundiales totales que se muestran en la fila de macroeconomía.

Tabla RT.19: Opciones de mitigación a escala sectorial y consideraciones de desarrollo sostenible (económico, local, medioambiental y social): sinergias y compensaciones recíprocas [Tabla 12.4].

Opciones de Mitigación a nivel de sectores	Sinergias potenciales de DS y condiciones para la implementación	Compensaciones recíprocas potenciales de DS
Suministro y uso energético: capítulos 4-7		
Mejoras de eficiencia energética en todos los sectores (edificios, transporte, industria y suministro energético) (Capítulos 4-7)	<ul style="list-style-type: none"> - A menudo la rentabilidad reduce o elimina las emisiones de la contaminación local y los impactos derivados en la salud, mejora el bienestar interior y reduce los niveles acústicos interiores, crea oportunidades de negocios y empleos y mejora la seguridad energética - Los programas gubernamentales e industriales pueden eliminar la falta de información y los problemas principales de los agentes - Los programas se pueden implementar a todos los niveles de gobierno e industria - Es importante asegurar que se consideren apropiadamente las necesidades energéticas en las lugares con bajos ingresos y que el proceso y consecuencias de implementar opciones de mitigación es neutral en cuanto a género 	<ul style="list-style-type: none"> - La contaminación del aire interior y los impactos en la salud humana derivados de las mejoras en la eficacia térmica de las estufas de cocción de biomasa en las zonas rurales de los países en desarrollo son inciertos.
Reemplazo de combustible y otras opciones en los sectores del transporte y edificios (Capítulos 5 y 6)	<ul style="list-style-type: none"> - El aumento de los beneficios en la salud puede compensar los costes de reducción del CO₂ - Fomentar el uso del transporte público y vehículos no motorizados tiene grandes y sólidos beneficios sociales - El reemplazo de combustibles sólidos por combustibles modernos en la cocina y calefacción interior puede reducir la contaminación del aire interior y aumentar el tiempo libre de las mujeres en los países en desarrollo - La institucionalización de sistemas de planificación a fin de reducir el CO₂ mediante la coordinación entre los gobiernos locales y nacionales es importante para diseñar estrategias comunes de sistemas de transporte sostenibles 	<ul style="list-style-type: none"> - Generalmente los motores de diesel son más eficientes, desde el punto de vista del combustible, que los motores de gasolina y por tanto, emiten menos CO₂ pero más partículas. - Otras medidas (autobús de GNC, ómnibus híbridos de diesel y electricidad y taxis renovados) aportarían pequeños beneficios al clima.
Reemplazo de combustibles fósiles importados por fuentes nacionales de energía alternativa (FNEA) (Capítulo 4)	<ul style="list-style-type: none"> - Importante asegurar la rentabilidad de FNEA - Reduce las emisiones locales de contaminantes del aire - Puede crear industrias indígenas nuevas (por ejemplo, el programa de etanol en Brasil) y generar empleos 	<ul style="list-style-type: none"> - La mejora de la balanza de pagos se compensa con el aumento del capital de inversión necesario. - los países exportadores de combustibles fósiles podrán sufrir reducción de las exportaciones. - las plantas hidroeléctricas desplazarán a las poblaciones locales y se dañarán los recursos hídricos y biodiversidad del medio ambiente.
Reemplazo del combustible fósil doméstico por fuentes importadas de energía alternativa (FIEA) (Capítulo 4)	<ul style="list-style-type: none"> - Casi siempre reduce las emisiones de contaminantes locales - La implementación sería más rápida que la FNEA - Importante asegurar la rentabilidad de FIEA - se beneficiarían las economías y sociedades de países exportadores de energía 	<ul style="list-style-type: none"> - Puede reducir la seguridad energética. - empeoraría la balanza de pagos pero disminuirían las necesidades de capital.
Sector forestal: Capítulo 9		
Forestación	<ul style="list-style-type: none"> - Puede reducir las tierras de desechos, detener la degradación de los suelos y gestionar la escorrentía del agua - Puede retener las reservas de carbono en el suelo si se minimiza la perturbación de los suelos en la siembra y cosecha - Se puede implementar como plantaciones agroforestales que intensifiquen la producción de alimentos - Puede generar empleos e industrias en las zonas rurales - La delimitación clara de los derechos de propiedad aceleraría la implementación de programas de forestación 	<ul style="list-style-type: none"> - El uso de tierras escasas puede competir con el uso de la tierra agrícola y disminuir la seguridad de alimentos a la vez que aumentan los costes de los alimentos. - las plantaciones de monocultivos pueden reducir la biodiversidad y son más vulnerables a las enfermedades. - la conversión de llanuras de inundaciones y humedales puede impedir las funciones ecológicas.
Deforestación evitada	<ul style="list-style-type: none"> - puede retener la biodiversidad, los beneficios de la gestión de las aguas y suelos y los patrones de lluvias locales - reduce la niebla y contaminación del aire local derivadas de incendios de bosques - si se realiza una buena gestión, puede proporcionar ingresos del ecoturismo y de ventas sostenibles de madera - la implementación satisfactoria requiere el compromiso de habitantes locales en la gestión de la tierra y/o medios de vida alternativos, poner en vigor leyes que impidan a los emigrantes emigrar hacia los bosques 	<ul style="list-style-type: none"> - Pueden provocar pérdidas del bienestar económico para algunas partes en la explotación de los bosques (terratenientes, obreros emigrantes). - la reducción del suministro de madera puede provocar la reducción de las exportaciones de madera y aumentar el uso de materiales de construcción con intensidad de GEI. - Puede provocar la deforestación con implicaciones de DS en cualquier parte.

Opciones de Mitigación a nivel de sectores	PSinergias potenciales de DS y condiciones para la implementación	Compensaciones recíprocas potenciales de DS
Sector forestal: Capítulo 9		
Gestión forestal	- Véase forestación.	- El uso de fertilizantes puede aumentar la producción de N ₂ O y el lavado de nitratos que dañaría la calidad del agua(subterránea) local. - La prevención de incendios y plagas tiene beneficios a corto plazo pero puede aumentar la reserva de combustibles para incendios futuros a menos que se administre adecuadamente.
Bioenergía (Capítulo 8 y 9)		
Producción de bionergía	- Positiva cuando se practica con desechos de cultivos (cáscaras, vainas, bagazo y/o poda de los árboles). - Crea empleo en zonas rurales. - La siembra de cultivos/árboles exclusivamente para biocombustibles requiere disponibilidad de tierra agrícola y mano de obra para evitar la competencia con la producción de alimentos.	- Puede tener consecuencias negativas en el medio ambiente si se practica de forma no sostenible- pérdida de biodiversidad, competencia por recursos hídricos, aumento del uso de fertilizantes y pesticidas. - Problema potencial con la seguridad de alimentos (en localidades específicas y aumento del costo de los alimentos.
Agricultura: Capítulo 8		
Gestión de tierras de cultivo (gestión de nutrientes, cultivos, desechos y agrosilvicultura; agua, arroz y reservas)	- El perfeccionamiento de la gestión de nutrientes puede mejorar la calidad del agua subterránea y la salud del medio ambiente del ecosistema cultivado.	- Los cambios en las políticas hídricas pueden poner en conflicto los intereses y amenazar la cohesión social. - Puede provocar el malgasto de agua.
Gestión de tierras de pastoreo	- Perfecciona la productividad del ganado, reduce la desertificación y proporciona seguridad social para los pobres. - Necesita leyes y su aplicación para prohibir el libre pastoreo.	
Gestión de ganado	- La mezcla del cultivo tradicional de arroz y la gestión de ganado mejoraría las ganancias aún en regiones áridas y semiáridas.	
Gestión de desechos: Capítulo 10		
Saneamiento mecánico de la eliminación de desechos con recuperación del gas de vertedero para capturar el metano	- Puede eliminar la eliminación no controlada de desechos y quema de desechos al aire libre y mejoraría la salud y seguridad de trabajadores y residentes. - Los lugares pueden proporcionar beneficios energéticos locales y espacios públicos para la recreación y otros fines sociales dentro de la infraestructura urbana .	- Cuando se realiza de manera insostenible puede causar lixiviación que provoca la contaminación del suelo y las aguas subterráneas con impactos potenciales negativos para la salud.
Procesos biológicos para los desechos y aguas residuales (compostación, digestión anaerobia, procesos aerobios y anaerobios de aguas residuales)	- Puede destruir elementos patógenos y subsanar el suelo si se aplican adecuadamente mediante la separación en la fuente de los desechos orgánicos o las aguas residuales. - Puede generar empleos. - Los procesos anaerobios pueden suministrar beneficios energético mediante la recuperación y uso del CH ₄ .	- Fuente de contaminación de agua y malos olores si no se controla y supervisa adecuadamente.
Incineración y otros procesos térmicos	- Obtiene la mayoría de los beneficios energéticos de los desechos.	- Costosa relativa al control de eliminación de desechos y compostación. - Insostenible en países en desarrollo sin infraestructura técnica. - Inversión adicional para controlar la contaminación de aire y se necesita separación en la fuente para evitar las emisiones de metales pesados y otros elementos tóxicos para el aire.
Reciclaje, reutilización y minimización de desechos	- Proporciona empleo local, así como sustituye la energía y materias primas por productos reciclados. - Los esfuerzos de las ONG, el capital privado para la industria del reciclaje, la puesta en vigor de regulaciones del medio ambiente, los planes urbanos para segregar el tratamiento de desechos y las actividades de la vida de la comunidad apoyan esta opción.	- La recogida de desechos no controlada provoca severos problemas de salud y seguridad a aquellas personas que se ganan la vida con los desechos. - El desarrollo de industrias de reciclaje locales necesita capital.

Nota: la información de esta tabla se extrajo de los Capítulos 4-11. El texto a continuación se refiere a la información sobre las implicaciones del DS de las opciones de mitigación en cada sector.

que puedan seguir los países y regiones, más allá de escenarios de emisiones de GEI concebidos con estrechez o escenarios que no tienen en cuenta el cambio climático, puede proporcionar el contexto para el nuevo análisis de los vínculos, pero puede que necesite nuevas herramientas metodológicas (*acuerdo alto, pruebas limitadas*) [12.2.4].

Implicaciones de las opciones de mitigación para las trayectorias de desarrollo sostenible

Se comprenden cada vez más las oportunidades para seleccionar e implementar opciones de mitigación de manera que no entren en conflicto o beneficien otras dimensiones del desarrollo sostenible o, cuando las compensaciones recíprocas son inevitables, permitan una selección racional. La Tabla RT.19 resume las implicaciones del desarrollo sostenible de las opciones principales de mitigación del cambio climático [12.3].

Los beneficios del desarrollo sostenible de las opciones de mitigación varían en un sector y entre regiones (*acuerdo alto, pruebas abundantes*):

- Generalmente, las opciones de mitigación que mejoran la productividad del uso de recursos, ya sean energéticos, hídricos o agrícolas, brindan beneficios en todas las dimensiones del desarrollo sostenible. Otras categorías de opciones de mitigación tienen un impacto menos cierto y dependen de un contexto socioeconómico amplio donde se ejecute la opción.
- Las políticas relativas al clima tales como la eficiencia energética y la energía renovable a menudo brindan beneficios económicos, mejorar la seguridad energética y reducen las emisiones locales de contaminantes. Muchas medidas de mitigación del suministro energético se pueden diseñar para alcanzar beneficios del desarrollo sostenible como la prevención del desplazamiento de poblaciones locales, la creación de empleos y los beneficios en la salud.
- La reducción de la deforestación puede ofrecer beneficios considerables en la biodiversidad y la conservación del agua y suelos pero puede provocar la pérdida del bienestar económico de algunas partes. El diseño adecuado de la forestación y plantaciones bioenergéticas puede provocar la restauración de las tierras degradadas, gestión de la escorrentía del agua, retención del carbono del suelo y beneficios en las economías rurales, pero puede competir por tierra para producir alimentos y ser negativa para la biodiversidad.
- Existen posibilidades de reforzar el desarrollo sostenible mediante acciones de mitigación en la mayoría de los sectores, pero especialmente en la gestión de desechos, transporte y edificios mediante la disminución del uso energético y la reducción de la contaminación.

13. Políticas, instrumentos y acuerdos de cooperación

Introducción

Este capítulo debate los instrumentos políticos nacionales y su ejecución, iniciativas del sector privado, gobiernos locales y

organizaciones no gubernamentales y acuerdos de cooperación internacional. Se debaten, donde es viable, políticas nacionales y acuerdos internacionales en un contexto de cuatro criterios principales de evaluación: eficacia del medio ambiente, rentabilidad, aspectos de distribución y factibilidad institucional. Existen otros criterios que se pueden considerar como efectos de la competencia y costes administrativos. Los gobiernos pueden aplicar los criterios para adelantar opciones entre los instrumentos y para evaluar el desempeño de los instrumentos [13.1].

Instrumentos políticos nacionales, implementación e interacciones

Según la literatura los gobiernos disponen de una amplia gama de políticas y medidas nacionales para limitar o reducir las emisiones de GEI. Estas incluyen: regulaciones y normas, impuestos y cargos, permisos negociables, acuerdos voluntarios, eliminación de subvenciones y suministro de incentivos financieros, investigación y desarrollo e instrumentos de información. Otras políticas, como las que afectan el comercio, las inversiones extranjeras directas y los objetivos de desarrollo social también pueden afectar las emisiones de GEI. En general, las políticas de cambio climático, contribuyen al desarrollo sostenible en países desarrollados y en desarrollo (véase el Capítulo 12) [13.1].

La reducción de emisiones en todos los sectores y gases requiere una carpeta de políticas elaboradas para cada circunstancia nacional específica. Aunque la literatura identifica ventajas y desventajas para cualquier instrumento, los responsables de políticas utilizan ampliamente el criterio antes mencionado a fin de seleccionar y evaluar políticas. Todos los instrumentos pueden estar bien o mal diseñados o ser rígidos o flexibles. Los instrumentos necesitan un ajuste en el tiempo y un sistema de supervisión y puesta en práctica. Además, los instrumentos pueden interactuar con las instituciones y regulaciones existentes en otros sectores de la sociedad. (*acuerdo alto, pruebas abundantes*) [13.1].

La literatura brinda mucha información para evaluar la manera en que instrumentos diferentes cumplen con los criterios antes mencionados (véase la Tabla RT.20) [13.2].

- **Medidas y normas reguladoras:** generalmente proporcionan seguridad del medio ambiente. Se usa preferiblemente cuando la falta de información u otras barreras impiden que las firmas y consumidores respondan a las señales de precios. Las normas reguladoras no siempre proporcionan a los contaminantes incentivos para desarrollar nuevas tecnologías a fin de reducir la contaminación, pero existen algunos ejemplos donde las normas reguladoras han estimulado la innovación tecnológica. Las normas son práctica común en el sector de edificios y existe una innovación importante. Aunque se aprobaron pocas normas reguladoras para solamente reducir las emisiones de GEI, las normas redijeron estos gases como un beneficio conjunto (*acuerdo alto, pruebas abundantes*) [13.2].
- **Impuestos y gravámenes (que se pueden aplicar al carbono o a todos los GEI):** muestran una alta eficacia

Tabla RT.20: Instrumentos políticos ambientales nacionales y criterios de evaluación [Tabla 13.1].

Instrumento	Criterios			
	Eficacia ambiental	Rentabilidad	Cumplimiento con las consideraciones de distribución	Viabilidad institucional
Regulaciones y normas	Establecimiento directo de niveles de emisiones, aunque sujeto a excepciones. Depende de plazos y acatamiento	Depende del diseño; la aplicación uniforme a menudo provoca mayores costes de acatamiento	Depende del nivel donde se desempeñe; desventajas para los actores nuevos/pequeños	Depende de la capacidad técnica; popular entre los reguladores, en países con mercados débiles
Impuestos y gravámenes	Depende de la capacidad de establecer impuestos a niveles que provoquen un cambio de comportamiento	Mejor mediante una amplia aplicación; mayores costes de administración donde las instituciones son débiles	Regresivo; puede mejorar con el reciclaje de ingresos	A menudo muy impopulares en el plano político; dificultad para implementar las en instituciones subdesarrolladas
Permisos negociables	Depende de las emisiones máximas, de la participación y del acatamiento	Disminuye con participación limitada y pocos sectores	Depende de la distribución de permisos iniciales, puede ofrecer dificultades para pequeños emisores	Necesita mercados con buen funcionamiento e instituciones complementarias
Acuerdos voluntarios	Dependen del diseño de programas, incluyendo objetivos claros, un escenario de línea de base, compromiso de terceras partes en el diseño y revisión y estipulaciones sobre la supervisión	Depende de la flexibilidad y dimensión de los incentivos gubernamentales, recompensas y sanciones	Se benefician sólo los participantes	A menudo populares en el plano político; necesita un número considerable de personal administrativo
Subvenciones y otros incentivos	Dependen del diseño del programa; menos ciertos que las regulaciones/normas	Depende del nivel y diseño del programa; puede distorsionar el mercado	Se benefician sólo participantes seleccionados; probablemente algunos que no lo necesitan	Popular entre los receptores; oposición potencial de los intereses de creados. Dificiles de eliminar gradualmente
Investigación y desarrollo	Depende de fondos constantes, cuando se desarrollan las tecnologías, y de políticas de difusión. Puede tener altos beneficios a largo plazo	Depende del diseño de programas y el grado de riesgo	Al principio beneficia a participantes seleccionados, potencialmente, es fácil desviar fondos	Necesita muchas decisiones separadas; depende de la capacidad de investigación y de la financiación a largo plazo
Políticas de información	Depende de cómo los consumidores usen la información; más eficaz combinada con otras políticas	Potencialmente de bajo coste, pero depende del diseño del programa	Puede que sea menos eficaz para grupos (por ejemplo, de bajos ingresos) que la falta de información	Depende de la cooperación de grupos con interés especial

Nota:

Las evaluaciones se basan en suposiciones de que los instrumentos son representativos de mejores prácticas en vez de perfectos desde el punto de vista teórico. Esta evaluación se basa principalmente en experiencias y literatura de países desarrollados, ya que se dispone de pocos artículos revisados por expertos sobre la eficacia de los instrumentos en otros países. El nivel de aplicación en países, sectores y circunstancias específicos – principalmente países en desarrollo y economías en transición – puede variar en gran medida. Si los instrumentos se combinan estratégicamente y se adaptan a las circunstancias locales, pueden intensificar la rentabilidad y eficacia ambiental.

de costes ya que proporcionan alguna seguridad sobre el coste marginal del control de la contaminación. No pueden garantizar un nivel específico de emisiones, pero conceptualmente los impuestos se pueden elaborar para que sean eficientes en el medio ambiente. Políticamente, es difícil implantar y ajustar impuestos. Al igual que las regulaciones, su eficacia ambiental depende de su rigidez. Al igual que la mayoría de los instrumentos políticos, se necesita cuidado para evitar los efectos adversos (*acuerdo alto, pruebas abundantes*) [13.2].

- **Permisos negociables:** constituyen un instrumento económico muy popular para controlar los contaminantes tradicionales y los GEI a escala sectorial, nacional e internacional. El volumen de emisiones concedido determina el precio del carbono y la eficacia ambiental de este instrumento, mientras que la distribución de permisos implica competencia. La experiencia indica que las estipulaciones bancarias suministran flexibilidad temporal considerable y que la conformidad de estipulaciones se

debe diseñar cuidadosamente, si aspiramos a un sistema de permisos eficiente (*acuerdo alto, pruebas abundantes*). La incertidumbre en el precio de las reducciones de emisiones bajo un sistema negociable dificulta, a priori, la estimación del coste total de alcanzar los objetivos de reducción [13.2].

- **Acuerdos voluntarios entre la industria y los gobiernos** y las campañas de información son atractivos políticos, aumentan la vigilancia entre las partes y desempeñan una función en la evolución de muchas políticas nacionales. La mayoría de los acuerdos voluntarios no ha alcanzado reducciones considerables de emisiones por encima de lo usual. Sin embargo, algunos acuerdos recientes en varios países aceleran la aplicación de la mejor tecnología disponible y provocan reducciones de emisiones mensurables comparadas con la línea de base. (*acuerdo alto, pruebas abundantes*). Los factores de éxito incluyen objetivos claros, un escenario de línea de base, compromiso de terceras partes en el diseño y revisión y estipulaciones formales para la supervisión [13.2].

- **Acciones voluntarias:** Las empresas, gobiernos nacionales, ONG y grupos civiles adoptan una serie de acciones voluntarias, independientemente de las autoridades gubernamentales, que podrían limitar las emisiones de GEI, estimular las políticas de innovación y fomentar la aplicación de nuevas tecnologías. Por sí solas tienen un impacto limitado a nivel nacional o regional [13.2].
- **Incentivos financieros** (subvenciones y créditos de impuestos) los gobiernos los usan con frecuencia para estimular la difusión de nuevas tecnologías que emiten menos GEI. Si bien los costes económicos de tales programas son a menudo más altos que los costes de los instrumentos mencionados anteriormente, a menudo son importantes para eliminar las barreras que impiden la entrada de nuevas tecnologías (*acuerdo alto, pruebas abundantes*). Al igual que otras políticas, los programas incentivos se deben diseñar con cuidado para evitar los efectos adversos del mercado. Las subvenciones directas e indirectas para el uso de combustibles fósiles y la agricultura se continúan aplicando en muchos países, aunque los del carbón disminuyeron durante el último decenio en muchos países de OCDE y en algunos países en desarrollo (véase también el Capítulo 2,7 y 11) [13.2].
- **Apoyo gubernamental para la investigación y desarrollo:** es un tipo de incentivo que se pueden convertir en un instrumento importante para asegurar que las tecnologías con bajas emisiones de GEI estén disponibles a largo plazo. Sin embargo, los fondos para muchos programas de investigación energética descendieron después de la crisis petrolera en el decenio de 1970 y se mantiene constantes, aún después de ratificar la CMCC. Se necesitan inversiones adicionales en y políticas para la I+D para asegurar que las tecnologías estén listas para la comercialización a fin de estabilizar los GEI en la atmósfera (véase el Capítulo 3), de conjunto con instrumentos económicos y reguladores para promover su aplicación y difusión (*acuerdo alto, pruebas abundantes*) [13.2].
- **Instrumentos de información** – a veces llamados necesidades de descubrimientos públicas – pueden afectar de manera positiva la calidad ambiental al permitir que el consumidor tenga mejor información sobre las opciones. Existen muy pocas pruebas sobre la reducción de emisiones mediante la disposición de información, pero puede mejorar la eficacia de otras políticas (*acuerdo alto, pruebas abundantes*) [13.2].

Aplicar una mezcla ambiental y económicamente eficiente de instrumentos requiere una buena comprensión de la cuestión del ambiente que se tratará, de los vínculos con otras áreas políticas y las interacciones entre los instrumentos diferentes en la unión. En la práctica, las políticas climáticas se aplican rara vez por separado ya que se entrelazan con otras políticas relativas al entorno, silvicultura, agricultura, gestión de desechos, transporte y energía, y en algunos casos, necesitan más de un instrumento (*acuerdo alto, pruebas abundantes*) [13.2].

Iniciativas de gobiernos locales, empresas y organizaciones no gubernamentales

La mayoría de la literatura sólo considera los instrumentos gubernamentales nacionales, pero las empresas, las autoridades

regionales y locales, las ONG y los grupos civiles también desempeñan una función importante y están adoptando una serie de acciones, independientemente de las autoridades gubernamentales, para reducir las emisiones de GEI. Las acciones corporativas varían desde iniciativas voluntarias hasta objetivos de emisiones y, en algunos casos, sistemas comerciales internos. Las razones por las cuales las empresas realizan acciones independientes incluyen el deseo de influir o prevenir las acciones de gobiernos, crear valores financieros y para diferenciar a una empresa y sus productos. Las acciones de los gobiernos locales, regionales y estatales incluyen normas de energías renovables, programas de eficiencia energética, registros de emisiones y mecanismos sectoriales de límites máximos y comercio de emisiones. Estas acciones se realizan para influir sobre políticas nacionales, solucionar los problemas de las partes, crear incentivos para nuevas industrias o crear beneficios conjuntos. Las ONG promueven programas para reducir emisiones mediante la promoción pública, litigios y diálogos con los partes. Muchas de las acciones anteriores pueden reducir las emisiones de GEI, estimular políticas de innovación, fomentar la aplicación de nuevas tecnologías y estimular la experimentación con nuevas instituciones, pero por sí solas tiene un impacto limitado. Estas acciones deben, para lograr reducciones considerables de emisiones, deben conducir a cambios las políticas nacionales (*acuerdo alto, pruebas abundantes*) [13.4].

Acuerdos internacionales (acuerdos sobre el cambio climático y otros tratados)

La CMCC y su Protocolo de Kyoto sentaron un precedente significativo como medio para solucionar problemas ambientales internacionales a largo plazo, pero solamente constituyen los primeros pasos hacia la implementación de una estrategia de respuesta internacional para combatir el cambio climático. Los mayores logros del Protocolo de Kyoto son la estimulación de un conjunto de políticas nacionales, la creación de un mercado internacional de carbono y el establecimiento de nuevos mecanismos institucionales. Todavía se necesita demostrar sus impactos económicos en los países participantes. Los MDL, en particular, crearon una gran línea de canalización de proyectos y movilizaron considerables recursos financieros, pero se enfrenta a retos metodológicos relativos a la elaboración de líneas de base y adicionalidad. El protocolo además, estimuló el desarrollo de sistemas de negociación de emisiones pero aún no se implementa un sistema mundial. El Protocolo de Kyoto en la actualidad está limitado por los reducidos límites de emisiones y tendrá un efecto limitado en las concentraciones atmosféricas. Sería más eficaz si al primer período de compromiso lo siguieran mediadas para lograr reducciones más profundas y la implementación de instrumentos políticos que cubran una porción mayor de emisiones mundiales (*acuerdo alto, pruebas abundantes*) [13.3].

La literatura identifica muchas opciones para lograr reducciones de emisiones dentro y fuera de la Convención y su Protocolo de Kyoto, por ejemplo: revisión de la forma y severidad de los objetivos de emisiones; expansión del alcance de los acuerdos

entre sectores y a escala local; desarrollo y adopción de políticas comunes; mejoras en los programas tecnológicos internacionales de ID+D; implementación de acciones orientadas al desarrollo y expansión de instrumentos financieros (*acuerdo alto, pruebas abundantes*). La integración de elementos diversos tales como la cooperación internacional en I+D y programas de límites máximos y comercio de emisiones en el marco de un acuerdo es posible, pero comparar los esfuerzos realizados por diferentes países sería complejo y requeriría muchos recursos (*acuerdo alto, pruebas abundantes*) [13.3].

La literatura conviene en que el éxito de un acuerdo reside en su eficacia ambiental, rentabilidad, incorporación de consideraciones de distribución y equidad, y viabilidad institucional (*acuerdo alto, pruebas abundantes*) [13.3].

Se dispone de mucha literatura sobre estructuras potenciales para acuerdos internacionales futuros y el contenido de estos. Tal como se aprecia en los informes anteriores del IPCC, debido a que el cambio climático es un problema mundial común, cualquier enfoque que no incluya una gran parte de las emisiones mundiales sería costoso y tendría menos eficacia ambiental (*acuerdo alto, pruebas abundantes*) (véase el Capítulo 3) [13.3].

La mayoría de las propuestas de acuerdos futuros que describe la literatura incluyen una discusión de objetivos, acciones específicas, plazos, participación, tratados institucionales, informes y estipulaciones sobre cumplimiento. Otros elementos tratan incentivos, sanciones por no participación e incumplimiento (*acuerdo alto, pruebas abundantes*) [13.3].

Objetivos

La designación de objetivos claros es un elemento importante de cualquier acuerdo climático. Pueden proporcionar una visión común sobre la dirección a corto plazo y ofrecer seguridad a largo plazo, algo que solicitan las empresas. Designar objetivos también ayuda a los acuerdos estructurales e instituciones, proporciona un incentivo para estimular la acción y ayuda a establecer criterios con los cuales medir el éxito al implementar medidas (*acuerdo alto, pruebas abundantes*) [13.3].

La opción de la ambición a largo plazo influye considerablemente sobre la acción necesaria a corto plazo y, por tanto, sobre el diseño del régimen internacional. Los costes de reducción dependen del objetivo, varían entre regiones y dependen de la distribución de permisos de emisiones entre regiones y del nivel de participación (*acuerdo alto, pruebas abundantes*) [13.2].

Las opciones de diseño de regímenes internacionales pueden incorporar objetivos a corto, mediano y largo plazos. Una opción es establecer un objetivo para concentraciones de GEI a largo plazo o un objetivo de estabilización de temperatura. Tal objetivo se podría basar en los impactos físicos a evitar o, conceptualmente, en los daños monetarios o no monetarios a evitar. Una alternativa al acuerdo de concentraciones específicas de CO₂ o niveles de temperatura es el acuerdo sobre acciones específicas a largo plazo, tales como I+D de tecnologías y

objetivos de difusión – por ejemplo, «eliminar las emisiones de carbono del sector energético en el año 2060». Una ventaja de este objetivo es que se podría vincular a acciones específicas (*acuerdo alto, pruebas abundantes*) [13.3].

Otra opción sería adoptar una «estrategia límite», definida como un objetivo a corto plazo de emisiones mundiales, desde el cual se pueda alcanzar una gama de objetivos deseados a largo plazo. Cuando se alcance el objetivo a corto plazo se decidirá sobre los próximos pasos a la luz de nuevos conocimientos y niveles de incertidumbres reducidos (*acuerdo mediano, pruebas medianas*) [13.3].

Participación

La participación de estados en los acuerdos internacionales varía desde muy modesta a extensa. Las acciones de los países participantes se diferencian en términos de cuándo se ejecuta la acción, quién ejecuta la acción y qué acción se ejecuta. Los estados que participan en el mismo nivel tendrán los mismos (o parecidos) tipos de compromisos. Las decisiones sobre cómo distribuir los estados en niveles se pueden basar en criterios formales cuantitativos o cualitativos, o ser «ad hoc». En virtud del principio de soberanía, los estados pueden escoger el nivel en el que se agruparán (*acuerdo alto, pruebas abundantes*) [13.3].

Un acuerdo puede tener participación estática o puede cambiar con el paso del tiempo. En el último caso, los estados pueden ascender de un nivel de compromisos a otro. El ascenso se vincula al paso de umbrales cuantitativos para ciertos parámetros (o combinaciones de parámetros) que se definen previamente en el acuerdo, tales como emisiones, emisiones acumuladas, PIB per capita, aporte relativo al aumento de temperatura u otras medidas de desarrollo, tales como el índice de desarrollo humano (IDH) (*acuerdo alto, pruebas abundantes*) [13.3].

Algunos indican que un acuerdo internacional para ser eficaz sólo necesita incluir a los mayores emisores, ya que los 15 países más extensos (incluyendo los 25 de la UE como uno solo) aportan el 80% de las emisiones mundiales de GEI. Otros aseveran que aquellos con responsabilidades históricas deben actuar primero. Otro punto de vista indica que el desarrollo tecnológico es un factor fundamental para una solución mundial del cambio climático y, por tanto, los acuerdos deben centrar su interés específicamente en el desarrollo tecnológico de los países del Anexo I que, a su vez, podrían compensar algunas o todas las fugas de emisiones en los países no incluidos en el Anexo I. Otros sugieren que un régimen climático no se refiere exclusivamente a la mitigación, sino que abarca además la adaptación, y que un conjunto más amplio de países es vulnerable al cambio climático y se debe incluir en cualquier acuerdo (*acuerdo alto, pruebas abundantes*) [13.3].

Severidad del régimen: objetivos vinculados, participación y tiempo

Según la mayoría de las interpretaciones equitativas, los países desarrollados como un grupo necesitarán reducir sus emisiones considerablemente para el año 2020 (10–40% por debajo de los niveles de 1999) y reducir todavía más los

niveles para el año 2050 (40–95% por debajo de los niveles de 1990) para alcanzar niveles de estabilización de bajos a medios (450–550 ppm CO₂-eq) (véase también el Capítulo 3). Según la mayoría de los diseños de regímenes considerados para tales niveles de estabilización, las emisiones de los países en desarrollo necesitan disminuir por debajo de sus emisiones de línea de base proyectadas en los próximos decenios (*acuerdo alto, pruebas abundantes*). En la mayoría de los países, la opción de un nivel de ambición a largo plazo será más importante que el diseño de un régimen de reducción de emisiones [13.3].

Los costes totales mundiales dependen en gran medida del escenario de línea de base, de estimaciones de los costes de reducción marginales, del nivel de estabilización de la concentración asumido (véase también el Capítulo 3 y 11) y el nivel (tamaño de la coalición) y el grado de participación (cómo y cuándo se distribuyen los permisos). Si, por ejemplo, algunas regiones de altas emisiones no participan de inmediato en las reducciones, el coste mundial de las regiones participantes sería mayor si se mantiene el objetivo (véase también el Capítulo 3). La disminución regional de los costes depende de la distribución de permisos de emisiones en las regiones, principalmente el tiempo. Sin embargo, el nivel de estabilización asumido y el escenario de línea de base son más importantes para determinar los costes regionales [11.4; 13.3].

Compromisos, plazos y acciones

Gran cantidad de literatura identifica y evalúa un conjunto diverso de opciones de compromisos que los diferentes grupos pueden asumir. El tipo de compromiso más evaluado es el límite de reducción de emisiones obligatorio y absoluto para los países incluidos en el Anexo I tal como se incluye en el Protocolo de Kyoto. La conclusión más amplia que se extrae de la literatura es que tales regímenes producen seguridad sobre los niveles de emisiones futuros de los países participantes (si se asume que se cumplen los límites). Muchos autores proponen que los límites se alcancen mediante el uso de una cantidad de enfoques de «flexibilidad», que incorporan varios GEI y sectores, así como varios países mediante el comercio con emisiones y/o mecanismos basados en proyectos (*acuerdo alto, pruebas abundantes*) [13.3].

Mientras que una variedad de autores propone que los límites absolutos se apliquen a todos los países en el futuro, muchos se cuestionan si la rigidez de tal enfoque puede restringir en demasía el crecimiento económico. Aunque no existe consenso sobre el enfoque, la literatura ofrece múltiples alternativas para tratar este problema, incluyendo los «objetivos dinámicos» (donde la obligación evoluciona con el tiempo) y límites sobre los precios (limitando los costes de cumplimiento a un nivel específico), que, a la vez que limitan los costes, provocarían la superación de los objetivos medioambientales. Estas opciones tienen el objetivo de mantener las ventajas del comercio internacional de emisiones mientras proporciona más flexibilidad en el cumplimiento (*acuerdo alto, pruebas abundantes*). Sin embargo, existe una compensación recíproca entre los costes y la seguridad de alcanzar un nivel de emisiones [13.3].

Mecanismos del mercado

Los enfoques basados en el mercado internacional pueden ofrecer medios rentables para tratar el cambio climático si cubren una amplia gama de países y sectores. Hasta el momento, sólo se han implantado unos pocos sistemas comerciales de emisiones nacionales, las EET de la UE constituyen el mayor esfuerzo para establecer tal esquema. Estas EET cuentan con más de 11.500 plantas ubicadas y autorizadas para comprar y vender permisos (*acuerdo alto, pruebas abundantes*) [13.2].

Aunque el Mecanismo de Desarrollo Limpio se desarrolla con rapidez, hasta el momento se han limitado los flujos financieros totales para la transferencia tecnológica. Los gobiernos, organizaciones multilaterales y firmas privadas han establecido fondos de carbono de aproximadamente 6 millardos de USD para proyectos de reducción de carbono, principalmente mediante MDL. Los flujos financieros para los países en desarrollo mediante proyectos de MDL están alcanzando niveles del orden de varios millardos de USD/año. Esto sobrepasa los flujos de la Global Environmental Facility (GEF), en comparación con los flujos de ayuda al desarrollo orientados a la energía, pero al menos un orden de magnitud menor que todos los flujos de inversiones extranjeras directas (IDE) (*acuerdo alto, pruebas abundantes*) [13.3].

Muchos coinciden en que un elemento clave para un acuerdo de cambio climático exitoso será su capacidad de estimular el desarrollo y transferencia de tecnología, sin la cual puede ser difícil lograr reducciones de emisiones a una escala considerable. La transferencia de tecnología hacia los países en desarrollo depende principalmente de las inversiones. Es importante crear condiciones para la inversión y captación de tecnologías y acuerdos tecnológicos internacionales. Un mecanismo para transferir tecnología es establecer vías nuevas para mover las inversiones de manera que cubran el coste incremental de mitigación y adaptación al cambio climático. Los acuerdos tecnológicos internacionales pueden fortalecer la infraestructura del conocimiento (*acuerdo alto, pruebas abundantes*) [13.3].

Una serie de investigadores indicó que los enfoques sectoriales proporcionan un marco adecuado para los acuerdos elaborados posteriores al Protocolo de Kyoto. En virtud de tal sistema, se pueden establecer objetivos específicos, comenzando con sectores o industrias particulares que sean importantes, con más facilidades para su tratamiento político, de manera homogénea a escala mundial o relativamente aislados de la competencia con otros sectores. Los acuerdos sectoriales pueden proporcionar un grado adicional de flexibilidad política y lograr que los esfuerzos de comparación dentro de un sector entre países sean más fáciles, pero pueden ser menos rentables, ya que comerciar dentro de un solo sector será necesariamente más costoso que comerciar entre todos los sectores (*acuerdo alto, pruebas abundantes*) [13.3].

Coordinación/armonización de políticas

Las políticas y medidas coordinadas pueden ser una alternativa para los objetivos internacionales de reducción de

Tabla RT.21: Evaluación de acuerdos internacionales sobre el cambio climático^a [Tabla 13.3].

Enfoque	Eficacia ambiental	Rentabilidad	Cumple con las consideraciones de distribución	Viabilidad institucional
Objetivos de emisión nacionales y comercio de emisiones internacionales (incluye compensaciones)	Depende de la participación y cumplimiento	Disminuye con la participación limitada y la reducción de la cobertura de sectores y gases	Depende de la distribución inicial	Depende de la capacidad para preparar inventarios y cumplimiento. Las deserciones debilitan la estabilidad del régimen
Acuerdos sectoriales	No todos los sectores responden a los acuerdos, lo que limita la eficacia total. La eficacia depende si el acuerdo es obligatorio o no	La falta de negociación entre los sectores aumenta los costes totales, aunque puede ser rentable dentro de sectores individuales. Los problemas de competencia se reducen dentro de cada sector	Depende de la participación. Se alivian los problemas de la competencia dentro de los sectores si se tratan con equidad a escala mundial	Necesita muchas decisiones por separado y capacidad técnica. Cada sector puede necesitar instituciones entre países que traten los acuerdos
Políticas y medidas coordinadas	Las medidas individuales pueden ser eficaces; los niveles de emisiones pueden ser inciertos; el éxito será una función del cumplimiento	Depende del diseño de políticas	La extensión de la coordinación podría limitar la flexibilidad nacionales; pero aumentaría la equidad	Depende del número de países; (más fácil entre grupos pequeños de países que a escala mundial)
Cooperación de ID+D^b tecnológica	Depende de los fondos, cuándo se desarrollan las tecnologías y políticas de difusión	Varía con el grado de riesgo de I+D. La cooperación reduce el riesgo individual nacional	Los problemas de la propiedad intelectual pueden anular los beneficios de la cooperación	Necesita muchas decisiones separadas. Depende de la capacidad de investigación y la financiación a largo plazo
Acciones orientadas hacia el desarrollo	Depende de políticas nacionales y diseño para crear sinergias	Depende del grado de sinergia con otros objetivos de desarrollo	Depende de los efectos de distribución de las políticas de desarrollo	Depende de la prioridad dada al desarrollo sostenible en las políticas nacionales y objetivos de las instituciones nacionales
Mecanismos financieros	Depende de los fondos	Depende del país y tipo de proyecto	Depende del proyecto y el criterio de selección de países	Depende de instituciones nacionales
Construcción de capacidad	Varía en el tiempo y depende del volumen	Depende del diseño de programas	Depende de la selección de grupos receptores	Depende del país y marcos institucionales

a) La tabla examina cada enfoque a partir de su capacidad de satisfacer sus objetivos internos, no en relación con el logro de un objetivo ambiental mundial. Si se logran tales objetivos, se necesita adoptar una combinación de instrumentos. La literatura no evalúa por igual a todos los enfoques; las pruebas para los elementos individuales de la matriz varían.

b) Investigación, Desarrollo y Demostración

emisiones o complementar los mismos. Se han discutido una serie de políticas en la literatura que podrían alcanzar este objetivo, incluyendo impuestos (tales como impuestos sobre el carbono o energía); coordinación/liberalización del comercio; I+D; políticas sectoriales y políticas que modifican la inversión extranjera directa. Bajo una propuesta, todas las naciones participantes – tanto industrializadas como en desarrollo– fijarían un impuesto sobre el uso nacional del carbono a una tasa común, logrando así la rentabilidad. Otras políticas señalan que aunque un precio de carbono equitativo en todos los países resulta económicamente eficiente, puede que no sea políticamente viable en el contexto de las distorsiones fiscales existentes (*acuerdo alto, pruebas abundantes*) [13.3].

Políticas no climáticas y vínculos con el desarrollo sostenible

Existe una interacción importante entre las políticas y medidas a escala nacional y local con las acciones del sector

privado, y entre la mitigación del cambio climático y las políticas de adaptación y políticas en otras áreas. Existe una serie de políticas no climáticas nacionales que pueden tener una influencia importante sobre las emisiones de GEI (véase el Capítulo 12) (*acuerdo alto, pruebas abundantes*). Nuevas investigaciones sobre los acuerdos internacionales futuros podrían centrarse en la comprensión de los vínculos internos entre las políticas climáticas, políticas no climáticas y el desarrollo sostenible, y sobre cómo acelerar la adopción de herramientas tecnológicas y políticas existentes [13.3].

La Tabla RT.21 muestra una perspectiva de cómo varios enfoques de los acuerdos internacionales sobre el cambio climático actúan según los criterios que se muestran en la introducción. Los acuerdos internacionales futuros tendrían mayor apoyo si cumplieren estos criterios (*acuerdo alto, pruebas abundantes*) [13.3].

14. Brechas en el conocimiento

Las brechas en el conocimiento se refieren a dos aspectos de la mitigación del cambio climático:

- Dónde la recopilación de datos adicionales, el modelado y el análisis puedan disminuir las brechas en el conocimiento, y la mejora resultante del conocimiento y la experiencia empírica podrían ayudar a la toma de decisiones sobre medidas y políticas de mitigación del cambio climático. Hasta cierto punto, las definiciones de incertidumbres de este informe reflejan estas brechas.
- Dónde la investigación y desarrollo podría mejorar las tecnologías de mitigación y/o reducir sus costes. Esta sección no analiza este aspecto, pero se analiza en los capítulos donde es pertinente.

Conjunto de datos de emisiones y proyecciones

Este informe se basa en gran cantidad de fuentes de datos y bases de datos, pero todavía existen brechas en la exactitud y fiabilidad de los datos de emisiones por sector y procesos específicos, principalmente los relativos a GEI exentos de CO₂, carbono orgánico o negro y CO₂ de varias fuentes, tales como la deforestación, descomposición de la biomasa e incendios de turba. A menudo falta tratamiento consistente de los GEI exentos de CO₂ en las metodologías de los escenarios subyacentes de emisiones de GEI futuras [Capítulos 1 y 3].

Vínculos entre cambio climático y otras políticas

Una innovación clave de este informe es el enfoque integrado entre la evaluación de la mitigación del cambio climático y opciones de mitigación más amplias, tales como impactos de políticas de desarrollo (sostenible) sobre niveles de emisión de GEI y viceversa.

Sin embargo, todavía no existen suficientes pruebas empíricas sobre la magnitud y dirección de la interdependencia e interacción del desarrollo sostenible y el cambio climático, de las relaciones de mitigación y adaptación relativas en relación con el desarrollo y de las implicaciones de equidad de ambas. Escasea la literatura sobre los vínculos entre la mitigación y el desarrollo sostenible y, en particular, sobre cómo capturar las sinergias y minimizar las compensaciones recíprocas, teniendo en cuenta el estado, el mercado y la función de la sociedad civil. Se necesita realizar nuevas investigaciones sobre los vínculos entre el cambio climático y las políticas nacionales y locales (incluidas, pero no limitadas, a seguridad energética, agua, salud, contaminación del aire, silvicultura, agricultura) que podrían conducir a resultados políticamente viables, económicamente atractivos y beneficiosos desde el punto de vista ambiental. Sería muy útil elaborar vías de desarrollo potenciales que se puedan seguir las naciones y regiones, que proporcionen vínculos entre la protección climática y cuestiones de desarrollo. La inclusión de macroindicadores de desarrollo sostenible que puedan supervisar los avances podrían respaldar dicho análisis [Capítulos 2, 12 y 13].

Estudios de costes y potenciales

Los estudios disponibles sobre potenciales de mitigación y costes difieren en su tratamiento metodológico y no cubren todos los sectores, GEI o países. Debido a suposiciones diferentes, por ejemplo, respecto a la línea de base y definición de potenciales y costes, su compatibilidad a menudo está limitada. Además, la cantidad de estudios sobre costes de mitigación, potenciales e instrumentos para países con Economías en Transición y la mayoría de las regiones en desarrollo es menor que para los países desarrollados y los países en desarrollo seleccionados (principales).

Este informe compara potenciales de mitigación y costes basados en datos ascendentes de análisis sectoriales y costes y potenciales descendentes de modelos integrados. La relación a escala sectorial es todavía limitada, en parte debido a la falta de datos o a los datos incompletos procedentes de estudios ascendentes y a las diferencias en las definiciones de los sectores y suposiciones de línea de base. Se necesitan estudios integrados que combinen elementos ascendentes y descendentes [capítulos 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 y 10].

Otra brecha importante es el conocimiento sobre los efectos de fuga²⁰ (los efectos de las medidas de mitigación nacionales o sectoriales en otros países o sectores). Los estudios indican que una amplia gama (efectos de fuga debido a una ejecución del Protocolo de Kyoto de entre el 5 y 20% para el año 2010), pero les falta una base empírica. Se necesitan más estudios empíricos [Capítulo 11].

La comprensión de los potenciales y costes de mitigación futuros depende no sólo del impacto previsto de la ID+D sobre las características del desempeño tecnológico, sino también del «aprendizaje tecnológico» y difusión y transferencia tecnológica, que a menudo los estudios sobre mitigación no tiene en cuenta. Los estudios sobre la influencia del cambio tecnológico sobre los costes de mitigación tienen una débil base empírica y a menudo conflictiva.

La implementación del potencial de mitigación puede competir con otras actividades. Por ejemplo, los potenciales de biomasa son grandes, pero pueden existir compensaciones recíprocas en la producción de alimentos, silvicultura o conservación natural. No se entiende con exactitud hasta qué punto el potencial de biomasa se puede emplear a lo largo el tiempo.

En general, existe una necesidad continua de una mejor comprensión sobre cómo las tasas de adopción de tecnologías de mitigación climática se relacionan con las políticas climáticas y no climáticas nacionales y regionales, con los mecanismos del mercado (inversiones, cambio de las preferencias del consumidor), el comportamiento humano y la evolución tecnológica, el cambio en los sistemas de producción y los acuerdos financieros, comerciales e institucionales.

²⁰ El escape de carbono es un aspecto de las fugas y constituye el aumento de las emisiones de CO₂ fuera de países que toman medidas nacionales dividido por las reducciones de emisiones en estos países