



Actividades económicas: sostenibilidad en la producción y el consumo



● Estructura de las emisiones por sectores y subsectores en América Latina y el Caribe

● Necesidades de adaptación en los principales sectores de América Latina y el Caribe

● Políticas de adaptación y mitigación en los sectores energético y agropecuario en América Latina y el Caribe

Mensajes clave

1

El sector agropecuario, de silvicultura y otros usos de la tierra (ASOUT) es el que más contribuye a las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) de la región, ya que genera un 58 % de las emisiones totales. El cambio en el uso de la tierra, debido en gran medida a la deforestación causada por la expansión de la frontera agropecuaria, es el principal responsable de dichas emisiones.

2

El sector de suministro de energía, el mayor emisor en el mundo, con un 34 % de los GEI producidos, representa solo el 13 % de las emisiones de América Latina y el Caribe. Esto se explica, en parte, por los menores niveles de desarrollo que caracterizan a la región y porque esta cuenta con una matriz eléctrica relativamente limpia.

3

La adaptación al cambio climático en el sector agropecuario deberá acaparar los mayores esfuerzos en América Latina y el Caribe dada la importancia del sector en sus economías y en el mercado global de alimentos, la elevada proporción de pequeños establecimientos dedicados mayormente al autosustento y puesto que ya se registran caídas en la producción de algunos cultivos.

4

La región requiere grandes inversiones en infraestructura para la adaptación en el sector energético y en las ciudades. Esto es de principal relevancia en países del Caribe, que representan una porción muy pequeña de las emisiones globales, pero en el corto y mediano plazo experimentarán los mayores impactos por eventos climáticos.

5

América Latina tiene un gran potencial de mitigación en reducciones de emisiones asociadas a la actividad ganadera, principalmente vacuna, tanto por las emisiones directas de metano como por la interrupción en el avance de la deforestación para crear tierras para pastoreo.

6

Las soluciones basadas en la naturaleza favorecen la adaptación, la mitigación y cuentan con otros cobeneficios. En particular, en el sector agropecuario, se destaca la agrosilvicultura, que provee coberturas naturales y tiene el potencial de aumentar la productividad.

7

Los precios al carbono son el mecanismo más eficiente para reducir las emisiones de GEI. Su implementación debería estar acompañada de la eliminación de los subsidios a los hidrocarburos y de una política redistributiva de la recaudación para compensar su impacto regresivo.

8

La región cuenta con un enorme potencial de generación eléctrica a partir de fuentes renovables de energía. Inversiones en estas tecnologías y en redes de transmisión y distribución, junto con la generación distribuida a partir de paneles solares, permitirían una autonomía energética y una disminución en la variabilidad de los precios de la energía.

9

Para mitigar las emisiones del transporte (el 11 % del total), la región debe centrar sus esfuerzos de corto plazo en políticas que favorezcan la adopción de mejoras técnicas en los motores de combustión interna, el uso del transporte público (idealmente eléctrico) y la adopción de alternativas al vehículo privado. La migración a una flota vehicular totalmente eléctrica debería ser un objetivo de mediano-largo plazo, dado el alto costo que implicaría en el corto plazo.

10

La industria genera el 16 % de las emisiones de la región y cuenta con limitadas opciones de mitigación dadas las tecnologías vigentes. Dentro de este sector, los principales emisores son el manejo de desechos, el subsector químico, de producción de metales y cemento. En algunos sectores industriales, el hidrógeno basado en fuentes libres de carbono puede reemplazar a los combustibles fósiles, pero ello requiere superar desafíos asociados al desarrollo de esta nueva tecnología.

11

La minería puede jugar un rol clave en la transición energética global proveyendo minerales críticos como el litio y el cobre, pero deberá focalizar sus esfuerzos en minimizar los impactos ambientales.

12

El sector del turismo, de gran relevancia para la generación de recursos y empleo en muchos países de la región, especialmente en las economías del Caribe, está bajo amenaza por los eventos climáticos, el deterioro de los ecosistemas marino-costeros y la pérdida de biodiversidad. Algunas políticas de adaptación para el sector son el manejo de costas y recursos hídricos, así como las regulaciones que favorecen el turismo sostenible.

Actividades económicas: sostenibilidad en la producción y el consumo¹

Introducción

Los impactos del cambio climático son de gran alcance y afectan a todos los sectores económicos. En América Latina y el Caribe (ALC), las economías dependen en gran medida de los recursos naturales, siendo la agricultura y el turismo especialmente vulnerables a los efectos de la variabilidad del clima. A medida que aumentan las temperaturas y los patrones climáticos se vuelven más extremos e impredecibles, estos sectores enfrentan crecientes desafíos para evitar caídas de productividad, aumentos de los costos y, en definitiva, pérdidas de competitividad. A su vez, los efectos del cambio climático sobre la infraestructura, por el aumento de la frecuencia e intensidad de los fenómenos meteorológicos extremos y la subida del nivel del mar, también plantean importantes retos económicos en todos los sectores.

La magnitud de estos retos se refleja, al menos en parte, en el índice de vulnerabilidad al cambio climático para la región elaborado por CAF (2014). Este

índice está compuesto por el riesgo de exposición al cambio climático y a fenómenos extremos, la sensibilidad humana a esa exposición y la capacidad de un país para adaptarse o aprovechar los posibles cambios climáticos. Este indicador revela la gran heterogeneidad de los impactos al cambio climático que hay en la región y destaca el elevado riesgo al que están expuestos los países de Mesoamérica y el Caribe, así como los del norte y centro de América del Sur.

Más allá de los efectos desiguales del cambio climático en países y sectores, un desafío central para toda la región, que afecta a todas las actividades económicas, es la transición energética. Esta se refiere a un cambio en el sistema energético global, que ponga fin a la actual dependencia de fuentes de energía contaminantes, como los combustibles fósiles, y privilegie fuentes renovables y más limpias, como la hidroeléctrica, la solar, la ólica, la geotérmica y la de biomasa.

¹ Este capítulo fue elaborado por Juan Odriozola y Manuel Toledo, con la asistencia de investigación de Agustín Staudt.

América Latina y el Caribe es una de las principales fuentes de gases de efecto invernadero (GEI) provenientes de la actividad agropecuaria y el uso de la tierra, por lo que cuenta con oportunidades de mitigación en este sector, especialmente en lo relacionado con las prácticas agropecuarias, responsables no solo de altas emisiones de GEI, especialmente metano, sino también de la mayor parte de la deforestación.

Este capítulo caracteriza las emisiones de GEI a nivel de grandes sectores económicos y discute la

importancia que estos tienen para las economías de la región. Además, analiza los impactos específicos del cambio climático sobre cada sector y las estrategias para adaptarse a ellos y mitigar las emisiones de GEI en línea con un objetivo de crecimiento económico sostenible. El capítulo hace énfasis en los sectores agropecuario y energético por ser los principales en cuanto a emisiones de GEI y los que presentan mayores oportunidades y avances tecnológicos en políticas de mitigación y adaptación. El capítulo busca resaltar los retos y oportunidades específicos de la región.

Emisiones e impacto medioambiental de los sectores

En este apartado se describen las tendencias en las emisiones de GEI de los sectores económicos en la región. También se analizan las diversas fuerzas impulsoras detrás de estas tendencias, así como los desafíos que enfrenta cada sector de cara a los efectos esperados del cambio climático.

Para este análisis conviene dividir la economía en los siguientes grandes sectores: suministro de energía; industria; transporte; edificaciones; y agropecuario, silvicultura y otros usos de la tierra (ASOUT). Este último, a su vez, se puede subdividir en sector agropecuario, por un lado, y uso de la tierra, cambios en el uso de la tierra y silvicultura (UTCUTS), por otro. La importancia relativa de estos sectores como emisores de GEI se ha mantenido estable desde 1990, como se aprecia en el gráfico 2.1. El conjunto de la actividad ASOUT contribuye a la mayoría de las emisiones de GEI de la región, específicamente con el 58 %, en contraste con el 22 % a nivel global, según datos de 2019. Por separado, el sector agropecuario y de UTCUTS representan respectivamente el 20 % y 38 % de las emisiones regionales, lo cual contrasta con el 11 % de cada uno de ellos a nivel global.

El resto de los sectores juega un papel menos importante en comparación con lo observado a nivel mundial. En particular, el de suministro de energía, el mayor emisor en el mundo, con un 34 % de los GEI, representa solo el 13 % de las emisiones en América Latina y el Caribe. Esto implica que la región contribuye

con el 26 % de las emisiones mundiales de ASOUT, pero solo con el 4 % de las emisiones del sector de suministro de energía, el 6 % de las de la industria, el 7 % de las del transporte y el 3 % de las producidas por edificaciones, lo cual se traduce en un 10 % de las emisiones totales a nivel mundial.

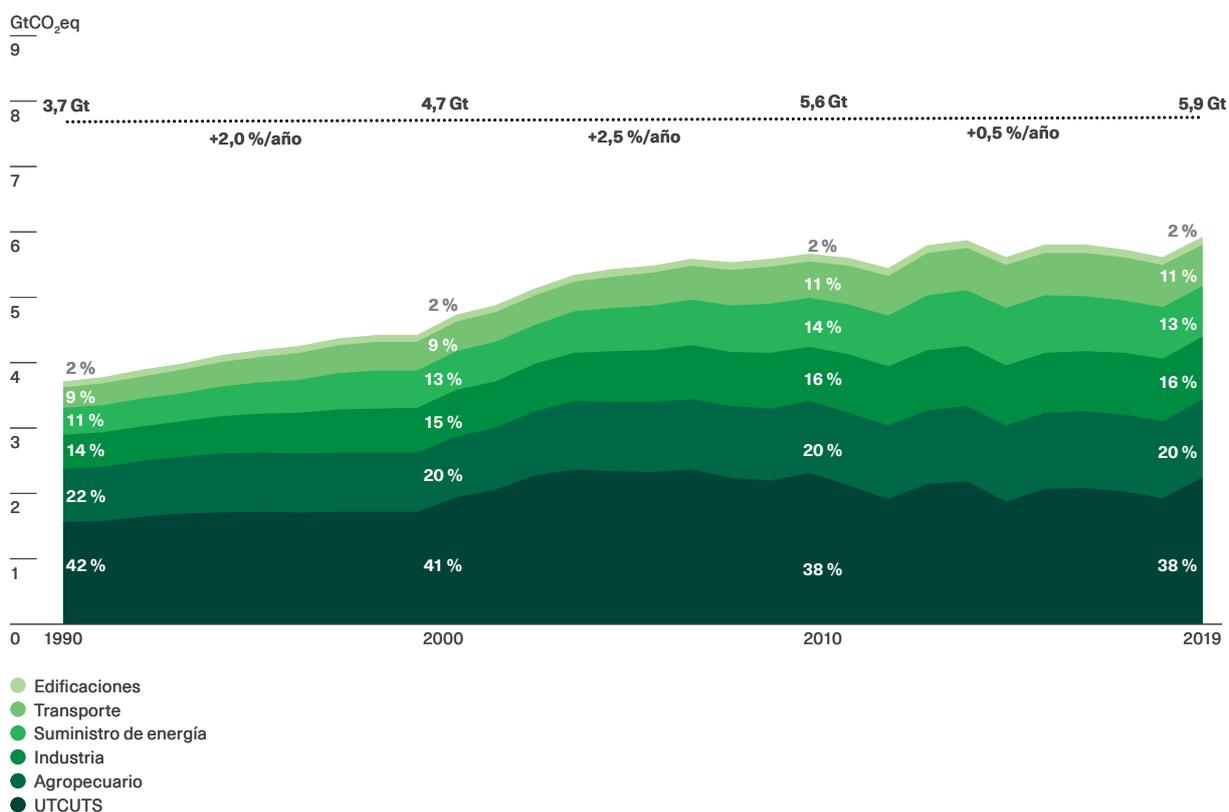


ASOUT representa el 58 % de las emisiones de GEI de América Latina y el Caribe, mientras que las emisiones del sector energético representan el 13 %. A nivel global, estos sectores representan el 22 % y el 34 % de las emisiones

Este panorama regional esconde una importante heterogeneidad entre países. El gráfico 2.2 muestra el porcentaje de emisiones de GEI de cada sector para un grupo de países y subregiones en 2019. Ahí se aprecia el rol primordial que juega el UTCUTS en Sudamérica, contribuyendo con el 35 % de las emisiones de la subregión (ver el capítulo 1). Por su parte, en Centroamérica y México, este sector explica el 26 % y 12 % de las emisiones, respectivamente. En contraste, en el Caribe, el UTCUTS no contribuye con emisiones de CO₂ y, de hecho, sirve de sumidero de carbono.

Gráfico 2.1

Emisiones de GEI por sector en América Latina y el Caribe en el período 1990-2019



Nota: El gráfico muestra la evolución de las emisiones de GEI en GtCO₂eq desagregada según los siguientes sectores: agropecuario, UT CUTS, edificaciones, sistemas de energía, transporte e industria. Adicionalmente, el gráfico reporta el volumen total de emisiones y la participación sectorial para los años 1990, 2000, 2010 y 2019, así como la variación interanual promedio de cada década. Los países incluidos en ALC son aquellos que se encuentran en la clasificación del IPCC en el Sexto Informe de Evaluación del Grupo de Trabajo III, capítulo dos (Dhakal et al., 2022).

Fuente: Elaboración propia con datos de Minx et al. (2021).

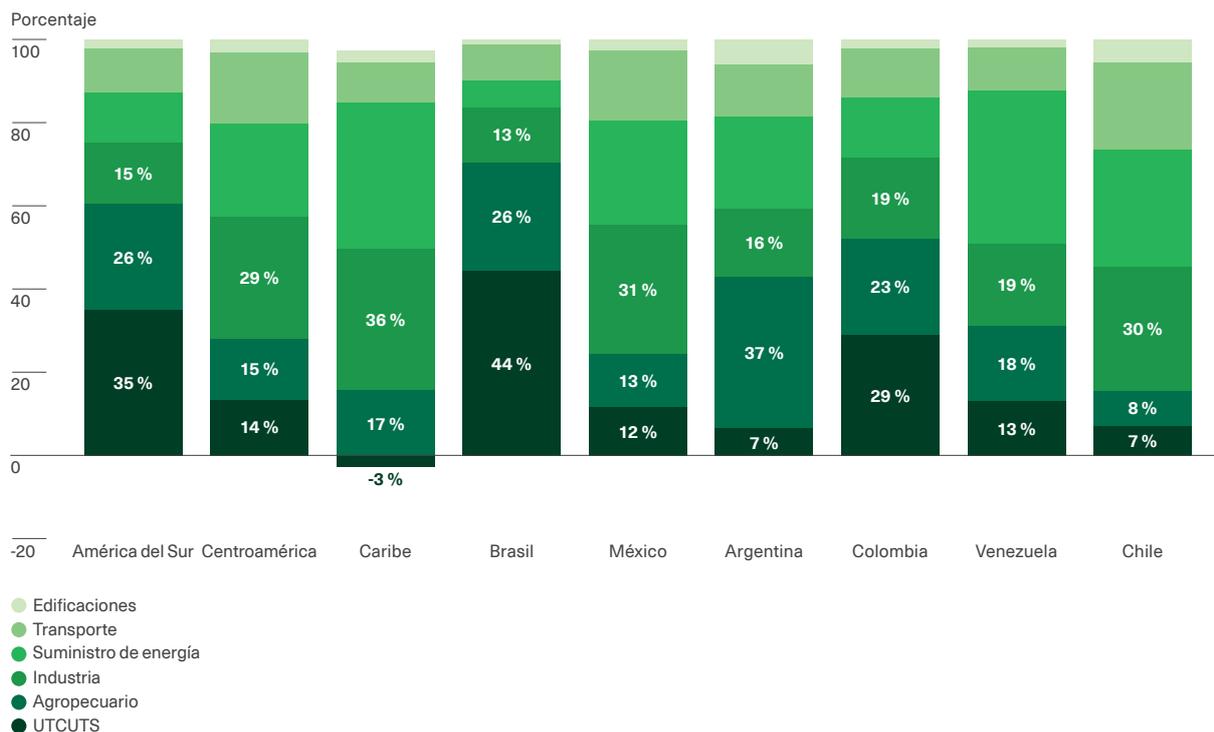
Asimismo, la relevancia de la actividad agropecuaria en las emisiones de GEI a nivel regional se explica en gran medida por la importancia que tiene esta actividad en Sudamérica, donde el 26 % de las emisiones provienen de este sector. Los tres países que más GEI emiten en la subregión son Argentina, Brasil y Colombia, a los que corresponde, en conjunto, un 70 % de todas las emisiones del sector agropecuario de América Latina y el Caribe. También destacan Uruguay y Paraguay, donde el 60 % y 31 % de las emisiones provienen del sector agropecuario. Por su parte, en Centroamérica esta actividad contribuye con el 23 % de las emisiones, mientras que en

México y el Caribe esta es responsable del 13 % y el 16 %, respectivamente.

Otra gran diferencia entre países se observa en la importancia del sector de suministro de energía. En Sudamérica y Centroamérica, este sector es responsable del 12 % y el 10 % de las emisiones de GEI, gracias a una matriz eléctrica relativamente limpia, como se explica más adelante. Por el contrario, en México y el Caribe, donde la generación de electricidad de fuentes renovables es mucho más pequeña, este sector contribuye con el 25 % y 37 % de las emisiones.

Gráfico 2.2

Emisiones de GEI por sector en América Latina y el Caribe en 2019



Nota: El gráfico reporta la participación sectorial en las emisiones de GEI totales para las subregiones de ALC y los seis principales países emisores de la región ordenados por el total de emisiones. La lista de países incluidos en cada subregión se puede consultar en el apéndice del capítulo disponible en línea.

Fuente: Elaboración propia con datos de Minx et al. (2021) y Friedlingstein, O'Sullivan et al. (2022).

Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra

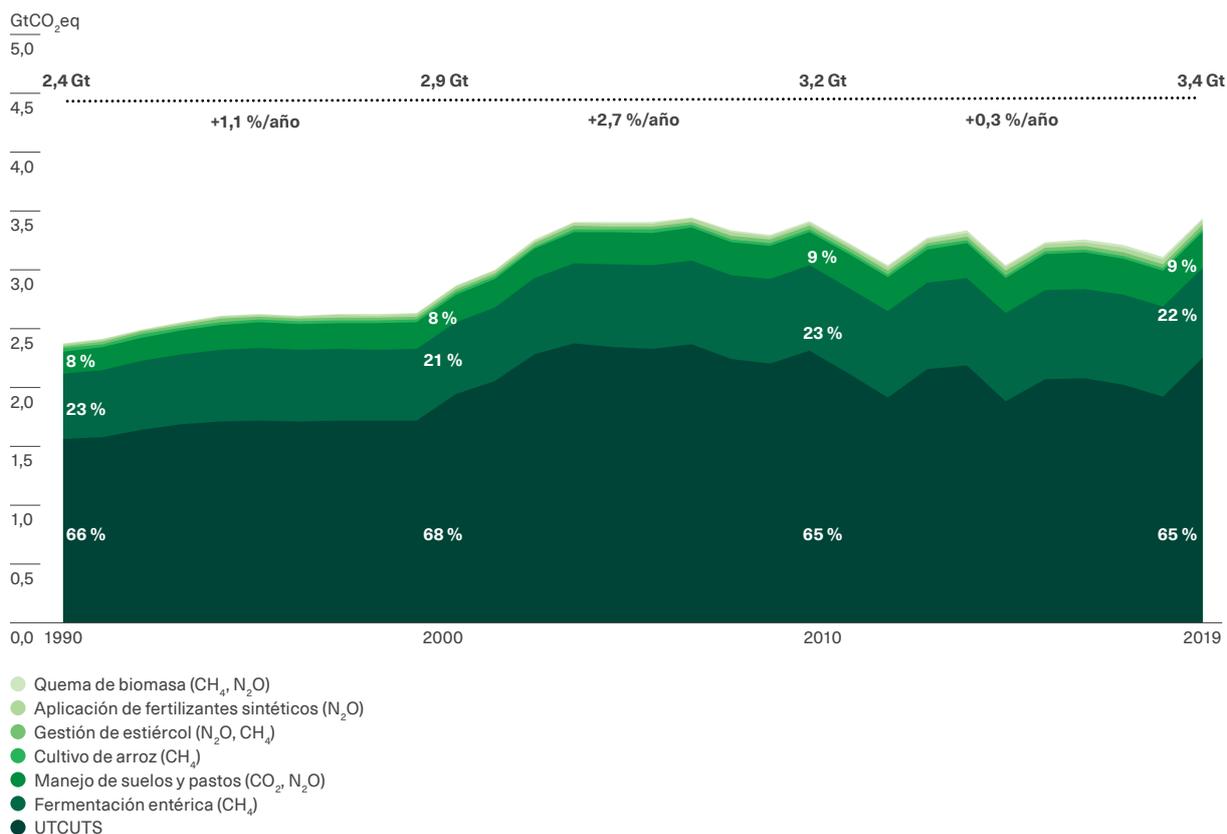
Emisiones

Como se ha mencionado anteriormente, la mayoría de las emisiones de GEI en la región provienen del sector ASOUT. Dentro de este, el UTCUTS es responsable de cerca de dos terceras partes de las emisiones, proporción que se ha mantenido

estable durante las últimas tres décadas (ver el gráfico 2.3). El tercio restante son emisiones del sector agropecuario, lo que contrasta con lo observado a nivel mundial, donde el UTCUTS y la actividad agropecuaria son, cada una, responsable de aproximadamente la mitad de las emisiones del sector ASOUT.

Gráfico 2.3

Emisiones de GEI del sector ASOUT en América Latina y el Caribe en el período 1990-2019



Nota: El gráfico reporta el volumen total de emisiones y la participación sectorial para los años 1990, 2000, 2010 y 2019, así como la variación interanual promedio de cada década. Los países incluidos en ALC son aquellos que se encuentran en la clasificación del IPCC en el Sexto Informe de Evaluación del Grupo de Trabajo III, capítulo dos (Dhakal et al., 2022).

Fuente: Elaboración propia con datos de Minx et al. (2021).

Esta alta proporción de emisiones del UTCUTS se debe a la deforestación y expansión de la frontera agraria en la región. América Latina y el Caribe experimentó una disminución de su área forestal de casi un 14 % en el periodo 1990-2020, de acuerdo con datos del Banco Mundial (2022a), mientras que la superficie de tierras de cultivo aumentó un 36 % en el periodo 1990-2017, según datos de uso de la tierra de Gauthier et al. (2021). Asimismo, datos para el periodo 2000-2010 revelan que más del 90 % de la deforestación regional es explicada por la actividad agropecuaria (Hosonuma et al., 2012).

En Sudamérica, en particular, la FAO (2022a) encuentra que el pastoreo de ganado fue la principal causa de deforestación entre 2000 y 2018. La agricultura, por su parte, también tuvo un rol importante. Durante las primeras dos décadas del presente siglo, la extensión forestal cayó un 5 % mientras que el área de cultivo creció un 45 %, siendo ambas tasas de variación las más elevadas entre las grandes regiones del mundo (Potapov et al., 2022). Datos satelitales muestran que las pérdidas forestales se concentraron a lo largo de la frontera agraria que rodea las selvas amazónicas aún intactas. De hecho, el 17 % de las áreas de expansión de tierras de cultivo coincidieron con las áreas de pérdidas de bosques, siendo la región del mundo con

la mayor proporción de dicha coincidencia espacial². Los principales focos de deforestación provocada por la expansión de las tierras de cultivo fueron los bosques húmedos del Cerrado y la Amazonia en Brasil, los bosques del Chaco en Argentina y los bosques chiquitanos en Bolivia (ver el capítulo 3).

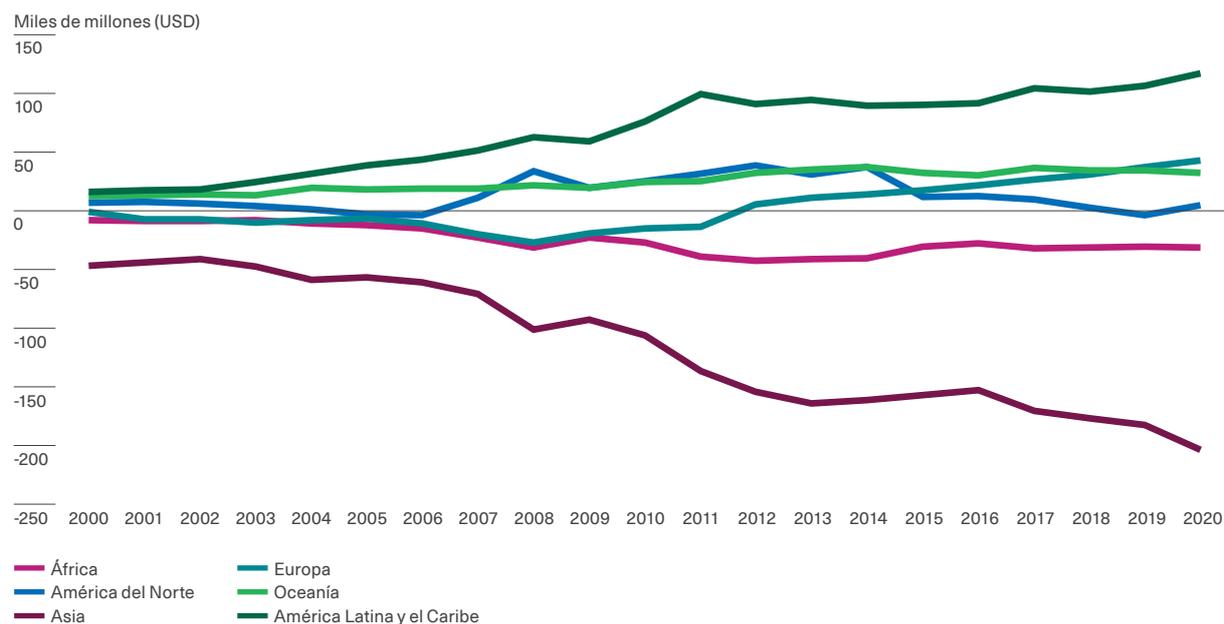
Este fenómeno de deforestación y de expansión de la frontera agraria está estrechamente vinculado a la creciente importancia que tiene la región como proveedor de alimentos al resto del mundo. Como muestra el gráfico 2.4, América Latina y el Caribe sobresale por el alto superávit comercial de alimentos en los últimos años, significativamente superior al de cualquier otra región del mundo. Esto se refleja en la extensión de tierras agrícolas de la región, que representan un 14 % del total mundial, así como en la alta participación que tienen las exportaciones agrícolas en las exportaciones totales de la región. En 2020, un 27 % de las exportaciones fueron de

productos agrícolas, tres veces mayor que lo observado en el resto del mundo. Así, la región contribuye con el 14,2 % de las exportaciones agrícolas mundiales, lo cual contrasta con su menor participación en las exportaciones totales (5,4 %) y en el PIB mundial (alrededor del 6 %). Esto contribuye a que el sector agropecuario tenga un peso relativamente alto en la economía de la región. Como muestra el gráfico 2.5, el valor agregado agropecuario representa el 5,2 % del PIB regional, mientras que en el resto del mundo es el 4,4 %. Sin embargo, se observa una gran heterogeneidad entre países a este respecto.

● ●
La expansión de la frontera agraria y la deforestación está estrechamente vinculada a la importancia de la región como proveedor de alimentos al resto del mundo

Gráfico 2.4

Exportaciones netas de alimentos por región en el período 2000-2020



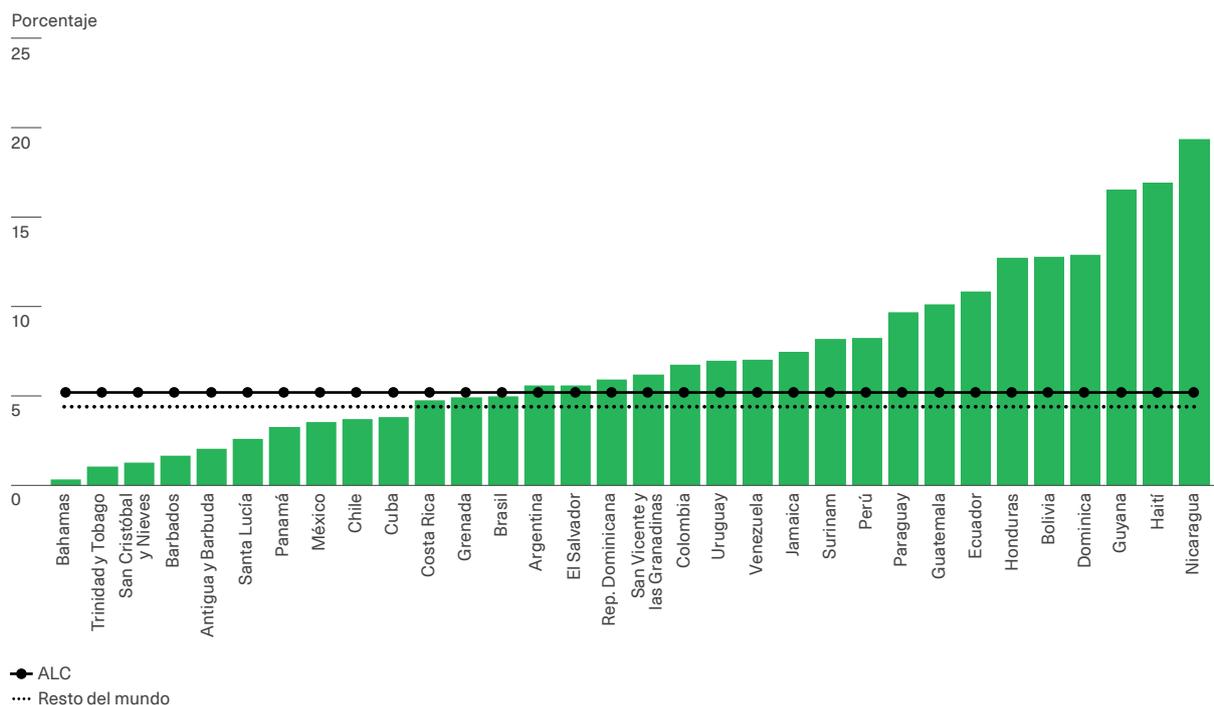
Nota: El gráfico reporta las exportaciones netas de alimentos (exportaciones menos importaciones), excluyendo pescado, en miles de millones de USD para el período 2000-2020. Los valores se encuentran desagregados por regiones.

Fuente: Elaboración propia con datos de FAO (2022b).

2 Como referencia, a nivel mundial, la ubicación del 8 % del área de expansión de las tierras de cultivo coincide con la de pérdida de bosques.

Gráfico 2.5

Valor agregado agropecuario en América Latina y el Caribe en 2020



Nota: El gráfico muestra el valor agregado de la agricultura, ganadería, silvicultura y pesca como porcentaje del PIB en USD (a precios de 2015) para los países de ALC con información disponible.

Fuente: Elaboración propia con base en datos de FAO (2022c).

Otro aspecto que vale la pena resaltar del sector agropecuario de la región es la mayor relevancia que tiene la ganadería en relación con el resto del mundo. Tomando como referencia el valor bruto de la producción de 2021, la actividad ganadera en América Latina y el Caribe representó el 39 % de todo el sector agropecuario, mientras que en el resto del mundo supuso el 30 %³. Esto se refleja en el perfil de emisiones de GEI del sector, la mayoría de las cuales proceden de la ganadería, en particular, de la fermentación entérica de los animales, fenómeno que ocurre durante el proceso digestivo de los rumiantes, que representa el 64 % de las emisiones de GEI del sector agropecuario, en contraste con el 46 % a nivel mundial. El

manejo de suelos y pasturas, por su parte, contribuye con el 26 % de las emisiones del sector. Finalmente, la aplicación de fertilizantes sintéticos (3,4 %), la gestión del estiércol (2,8 %), el cultivo de arroz (1,9 %) y la quema de biomasa (1,6 %) aportan el resto.

En cuanto a la composición de las emisiones por tipo de gas de la actividad agropecuaria, el 69 % son de metano, procedentes principalmente de la fermentación entérica. Por su parte, el óxido nitroso representa el 28 % de las emisiones del sector, provenientes en su gran mayoría del manejo de suelos y pasturas. Finalmente, el CO₂ representa menos del 3 % de las emisiones.

³ Estos porcentajes se calcularon específicamente a partir del valor bruto de la producción en USD corrientes de ambas actividades disponibles en FAO (2022d).

Como se menciona en el capítulo 1, el metano tiene una mayor capacidad para absorber el calor que el CO₂. Esto lo hace un gas notablemente más dañino para la atmósfera y para el medio ambiente. Sin embargo, dada su corta permanencia en la atmósfera, de alrededor de 10 años, reducciones rápidas en las emisiones de metano pueden tener efectos significativos en un plazo relativamente corto. Otra característica relevante del metano es que es uno de los principales precursores del ozono troposférico. Además de ser muy nocivo para la salud humana, tiene efectos adversos sobre la vegetación y su capacidad de desarrollo, lo cual reduce el crecimiento de los bosques, la biodiversidad y la productividad de los cultivos. Esto, a su vez, impacta negativamente en la capacidad de absorción de CO₂ de la biomasa forestal, contribuyendo así al calentamiento global.

Por su parte, el óxido nitroso, que tiene un tiempo de permanencia en la atmósfera de más de cien años, es un gas significativamente más potente que el CO₂, con mayor capacidad de atrapar el calor en la atmósfera⁴. Debido a la larga duración del óxido nitroso en la atmósfera, el control de las emisiones globales de este gas no tendrá un impacto inmediato en su concentración atmosférica. De hecho, tomará más de un siglo lograr una estabilización completa (IPCC, 2021a). Otro aspecto importante es que el óxido nitroso es uno de los principales causantes de la destrucción de la capa de ozono estratosférico que filtra la radiación ultravioleta dañina del sol. La reducción de esta capa protectora tiene efectos adversos tanto para la salud humana como para la vegetación y su capacidad de absorber carbono de la atmósfera, lo que también contribuye al calentamiento global y reduce la productividad agrícola.

Las emisiones de óxido nitroso, a diferencia de los otros gases, se encuentran muy concentradas en la agricultura. Esta es responsable de casi tres cuartas partes de las emisiones de este gas en América Latina y el Caribe. Esta alta concentración en una actividad permite que las medidas de mitigación puedan ser más

focalizadas y potencialmente efectivas. Por ejemplo, medidas que mejoren el manejo de los suelos e incentiven un uso más eficiente de los fertilizantes nitrogenados podrían tener un impacto significativo sobre las emisiones de este gas⁵.

Necesidades de adaptación al cambio climático

Muchos estudios han analizado los efectos del cambio climático sobre la actividad agropecuaria. Algunos de los principales factores resaltados en ellos son el cambio en los regímenes pluviales, el aumento significativo de las temperaturas extremas, la mayor incidencia de las plagas y enfermedades de los cultivos y el mayor riesgo de sequías y otros eventos climáticos extremos⁶.

● ● El cambio climático afecta a la actividad agropecuaria a través del cambio en los regímenes pluviales, el aumento de las temperaturas extremas y la mayor incidencia de plagas, riesgo de sequías y otros eventos climáticos extremos

En el caso de América Latina y el Caribe, estos efectos son heterogéneos entre subregiones y países. La localización geográfica es especialmente relevante dada la extensión territorial de la región. En las latitudes tropicales y subtropicales, el aumento de las temperaturas afecta negativamente la producción debido a que se pueden superar los umbrales de tolerancia al calor de algunos cultivos⁷. En cambio, en las latitudes templadas, el aumento de las temperaturas y la extensión de la temporada de cultivo tienden a expandir el área con potencial de producción. En general, se esperan

4 El IPCC (2021a) reporta que la duración media del óxido nitroso en la atmósfera es de 116 años. Si se toma en cuenta el efecto negativo que tiene la concentración de este gas sobre su propia vida atmosférica, su duración efectiva es de 109 años. Ese informe también indica que el óxido nitroso tiene un potencial de calentamiento global 273 veces mayor que el CO₂ sobre un periodo de 100 años.

5 Sin embargo, el IPCC (2022a) señala que, en los diferentes escenarios de mitigación, las reducciones de emisiones de metano y óxido nitroso del sector ASOUT son modestas.

6 Algunos de estos estudios son los de Nelson et al. (2009), Campbell (2022), Outhwaite et al. (2022), Skendžić et al. (2021), Raza et al. (2019). El capítulo 1 de este reporte también discute estos fenómenos como consecuencia del cambio climático.

7 En el caso de Centroamérica, por ejemplo, se espera que el aumento de las temperaturas provoque una reducción en el rendimiento de los cultivos de café, maíz, arroz y frijol, así como del área apta para su cultivo.

impactos negativos en las áreas tropicales y subtropicales e impactos leves o incluso positivos en las zonas templadas⁸.

En Centroamérica, el sector agrícola es particularmente vulnerable a la disminución de las precipitaciones debido a que alrededor del 90 % de la producción depende del agua de lluvia para la irrigación de los cultivos. En estos países, la producción agrícola opera bajo un calendario bimodal marcado por dos periodos de lluvias y un periodo seco al año. La disminución de las precipitaciones está ocurriendo durante el segundo periodo de lluvias, que coincide con el final del verano, lo que compromete la posibilidad de tener una segunda cosecha antes de la llegada del periodo seco. Esta vulnerabilidad es especialmente acuciante en el llamado corredor seco centroamericano, que es la franja de territorio que atraviesa Costa Rica, Nicaragua, Honduras, El Salvador y Guatemala. Es una zona, además, altamente vulnerable a eventos climáticos extremos, donde se suceden largos periodos de sequía y periodos de lluvias intensas que afectan fuertemente a la producción agraria⁹.

La producción agroalimentaria en los países del Caribe enfrenta desafíos similares a los de Centroamérica. Además de los problemas de escasez de agua para la producción agrícola, esta subregión está muy expuesta a inundaciones y otros eventos climáticos extremos.

Esta vulnerabilidad al cambio climático ya se ha manifestado en significativas pérdidas de producción agrícola en México, Centroamérica y el Caribe (Lachaud et al., 2017). En el futuro, se espera que la situación se agrave debido a la caída tanto en el rendimiento de los cultivos como en la productividad laboral agrícola, por el estrés térmico que sufren los trabajadores del sector durante los periodos de elevadas temperaturas. Por ejemplo, para 2050, la caída en la producción de cultivos sería de un 20 % en Belice, el 11 % en Nicaragua, el 7 % en Panamá y El Salvador y el 5 % en México (Banerjee et al., 2021)¹⁰.

8 Ver Cristini (2023) un estudio elaborado especialmente para este reporte.

9 Ver Molina-Millán (2023), un estudio elaborado especialmente para este reporte.

10 Cabe resaltar que estas estimaciones no toman en cuenta posibles medidas de adaptación y mitigación al cambio climático que los gobiernos y productores podrían implementar o avances tecnológicos para contrarrestar sus efectos.

11 Una consecuencia de la creciente vulnerabilidad de los cultivos al cambio climático es el aumento de la migración ilegal. Danza y Lee (2022) encuentran que en las regiones rurales de México los choques en las precipitaciones y las temperaturas en la estación húmeda disminuyen el área total cosechada y la producción de maíz, y generan un aumento de la migración hacia Estados Unidos. Adicionalmente, documentan que dicha migración se explica casi en su totalidad por migrantes ilegales.



Los efectos del cambio climático sobre la actividad agropecuaria implican mayores riesgos para la seguridad alimentaria tanto en la región como en el resto del mundo

En un estudio reciente, Prager et al. (2020) evalúan los efectos del cambio climático sobre la agricultura en 15 países de América Latina y el Caribe. En él toman en cuenta no solo la respuesta biofísica de los cultivos, sino también las respuestas económicas de los productores para adaptarse a las pérdidas de rendimiento y aptitud agroecológica de los cultivos y al cambio de las condiciones en los mercados internacionales¹¹. Sus resultados indican que la región andina, México y Centroamérica sufrirán los mayores impactos negativos, mientras que los países del Cono Sur podrían aumentar su producción. Sin embargo, si los aumentos de temperaturas resultan más pronunciados, los impactos negativos podrían ser más generalizados.

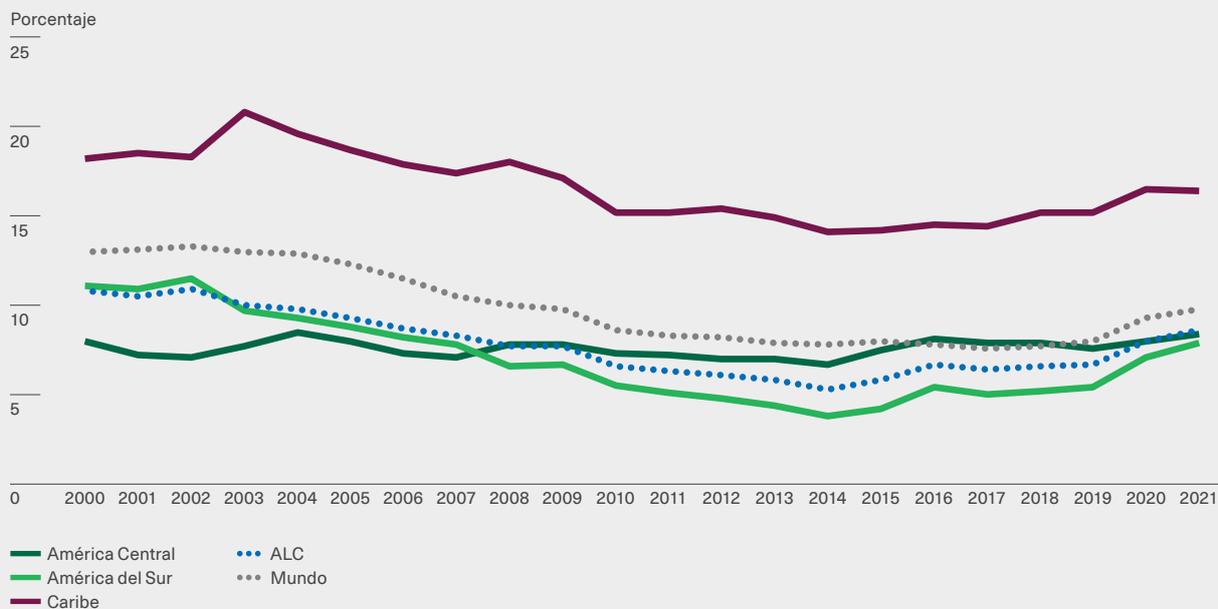
Estas estimaciones implican mayores riesgos para la seguridad alimentaria no solo de la región, sino también de otras regiones del mundo, en particular Asia y África que, como muestra el gráfico 2.4, tienen importantes déficits comerciales de alimentos (ver el recuadro 2.1). La mayor inseguridad alimentaria, junto con el desplazamiento de cultivos a causa del cambio climático y el aumento de la demanda de alimentos, puede generar presiones adicionales sobre los bosques y una mayor deforestación, que tendría efectos negativos no solo sobre las emisiones de GEI y la biodiversidad, sino también sobre la propia productividad agrícola, ya que los retornos de la conversión de bosques en tierras agrícolas son generalmente bajos debido a la rápida pérdida de fertilidad de esos suelos.

Recuadro 2.1

Seguridad alimentaria

Las últimas estimaciones de las Naciones Unidas indican que cerca del 10 % de la población mundial y el 9 % de la población de América Latina y el Caribe padece hambre (FAO, 2021, 2020), el punto más alto alcanzado en los últimos 15 años (Naciones Unidas, 2015). Esto ha sido exacerbado por los efectos de la pandemia por COVID-19. El gráfico 1 muestra la prevalencia de la desnutrición a nivel mundial y en América Latina y el Caribe. Puede observarse que en esta región existe una tendencia levemente creciente en desnutrición, que comenzó en 2014, siendo los países del Caribe los que presentan los niveles más altos. Y, como se mencionó en el capítulo 1, los países del Caribe se encuentran a su vez entre aquellos con mayor riesgo a la exposición de efectos del cambio climático.

Gráfico 1
Prevalencia de la desnutrición por subregiones de América Latina y el Caribe en el período 2000-2021



Nota: El gráfico muestra el porcentaje de la población con problemas de desnutrición en el período 2000-2021 para el mundo, ALC y sus subregiones. La lista de países incluidos en cada subregión se puede consultar en el apéndice del capítulo disponible en línea.

Fuente: Elaboración propia con base en FAO (2022e).

La agricultura familiar (AF) es una fuente principal de sustento de la población y de generación de empleo en Mesoamérica y el Caribe. El cuadro 1 muestra la importancia que tiene ese tipo de agricultura para la mayoría de los países de América Central^a y destaca el peso que tiene en la producción de alimentos y el empleo. Según estimaciones de Leporati et al. (2014), el 81 % de las explotaciones totales de la región son familiares.

Los granos básicos ocupan gran parte de la superficie agrícola de la región. Mientras su aporte al valor agregado agropecuario es de menos del 10 %, su producción es fundamental para la alimentación de gran parte de la población de la región, incluyendo el autoconsumo de los pequeños productores. Estos productores y sus familias se encuentran bajo una gran amenaza por los efectos que el cambio climático puede tener en sus cultivos y deben ser considerados en las políticas públicas como un sector primordial a la hora de financiar políticas de adaptación.

Cuadro 1

Aporte de la agricultura familiar a la producción agropecuaria en 2013

	Costa Rica	El Salvador	Guatemala	Honduras	Nicaragua	Panamá
Proporción de la producción de alimentos generados por la AF						
Arroz	22 %	84 %	73 %	78 %	21 %	16 %
Frijol	75 %	42 %	13 %	14 %	2 %	52 %
Maíz	97 %	44 %	30 %	40 %	23 %	81 %
Frutas	10 %	32 %	3 %	12 %	8 %	6 %
Hortalizas	9 %	64 %	3 %	8 %	66 %	9 %
Carne	2 %	9 %	21 %	10 %	2 %	6 %
Proporción del empleo sectorial proveniente de la AF						
Empleo	36 %	51 %	63 %	76 %	65 %	70 %

Nota: El cuadro reporta la participación de los principales cultivos en la agricultura familiar en Centroamérica.

Fuente: Molina-Millán (2023).

a. No se cuenta con datos ni estimaciones para Belice o los países del Caribe.

Un aspecto que merece especial atención es el de la estructura productiva del sector agropecuario en América Latina y el Caribe, muy relevante a la hora de evaluar el impacto del cambio climático sobre la actividad y la seguridad alimentaria. Una primera característica fundamental es que las explotaciones agropecuarias tienden a ser pequeñas, ocupando una gran parte de las tierras de cultivo. Como se observa en el cuadro 2.1, para los países de la región con datos disponibles relativamente recientes, en promedio, el 46 % del área de cultivos lo comprenden explotaciones de menos de 2 hectáreas (ha) y el 75 % son explotaciones de menos de 10 ha. Estas pequeñas explotaciones tienden a ser

de agricultura familiar y de subsistencia y concentran una gran parte del empleo sectorial, que en muchos países constituye un alto porcentaje del empleo total. Además, este tipo de explotaciones suelen utilizar sistemas productivos tradicionales y enfrentar severas limitaciones de acceso a agua y tierras productivas, a financiamiento y a mercados que les permitan insertarse en las cadenas productivas agroindustriales, todo lo cual resulta en una baja productividad.

Cuadro 2.1

Características relevantes del sector agropecuario de América Latina y el Caribe

	Empleo en la agricultura/total (%)	Área de cultivo de secano (%)	Área de cultivo con explotaciones de < 2 ha (%) *	Área de cultivo con explotaciones de < 10 ha (%) *
Argentina	0,1	86,7		
Bahamas	2,2			
Barbados	2,7	88,3		
Belice	16,8	96,5		
Bolivia	30,5	86,0	40,3	72,7
Brasil	9,1	90,8	25,2	53,1
Chile	9,0	99,1	20,6	60,3
Colombia	15,8	68,4	28,2	81,1
Costa Rica	12,0	88,8	30,3	67,6
Cuba	17,4	98,3		
Ecuador	29,7	50,4		
El Salvador	16,3	98,0	69,2	94,1
Guatemala	31,3	78,3		
Guyana	15,4	46,9		
Haití	29,0	95,2	85,1	99,8
Honduras	29,5	95,7		
Jamaica	15,2	88,0	83,5	99,1
México	12,5	73,3	44,2	75,6
Nicaragua	30,6	91,6	34,6	64,2
Panamá	14,4	99,3	59,5	81,5
Paraguay	18,7	96,5	14,4	63,6
Perú	27,4	57,7	57,9	89,4
República Dominicana	8,8	82,2		
San Vicente y las Granadinas	10,1	100,0		
Santa Lucía	10,0	100,0	83,1	99,2
Surinam	8,1	42,7	69,9	94,5
Trinidad y Tobago	3,0	100,0		
Uruguay	8,4	97,6	2,2	16,2
Venezuela	7,9	49,5	31,4	63,9
América Latina y el Caribe	15,2	83,8	45,9	75,1

Nota: El cuadro muestra cuatro indicadores que resumen características relevantes del sector analizado: porcentaje del empleo sobre el total en 2019 (primera columna); porcentaje del área de cultivo de secano en 2017 (segunda columna); porcentaje del área de cultivo con explotaciones inferiores a 2 ha (tercera columna); y porcentaje del área de cultivo con explotaciones inferiores a 10 ha (cuarta columna). * Cifras basadas en censos agropecuarios realizados en diferentes años, que abarcan desde 2006 en Brasil hasta 2014 en Colombia y Costa Rica.

Fuente: Elaboración propia con datos de Banco Mundial (2022b), FAO (2022f) y Gauthier et al. (2021).



Ligado a esto está el hecho de que un muy alto porcentaje de los cultivos en la región son de secano. El cuadro 2.1 muestra claramente el gran peso de la agricultura de secano en la gran mayoría de los países de la región. En promedio, el 84 % de las áreas de cultivo depende exclusivamente del agua de lluvia. Dados los efectos esperados del cambio climático sobre las precipitaciones, con periodos de sequía más largos y de lluvias más intensos en muchos lugares, la dependencia de la lluvia puede llegar a ser un grave problema para los productores agropecuarios, especialmente las explotaciones pequeñas, poniendo en riesgo la seguridad alimentaria de los pequeños productores y en especial la de aquellos enfocados en el autoconsumo.

Este panorama presenta varios desafíos para el sector. El primero es cómo enfrentar la caída de la productividad agrícola como resultado del cambio climático. El segundo es cómo enfrentar el aumento

esperado de la demanda de productos agropecuarios y, al mismo tiempo, reducir o mitigar las emisiones de GEI provenientes del sector ASOUT. Esto revela la necesidad de diseñar un conjunto de medidas que impulsen la productividad agropecuaria y, al mismo tiempo, detengan o al menos ralenticen la expansión de la frontera agrícola, de modo que se reduzca la alta tasa de deforestación en la región o que incluso se incentive la reforestación en ciertas tierras, como aquellas que pertenecían a áreas forestales. Estos desafíos se abordan en el apartado “Adaptación y mitigación en el sector agropecuario”.



Para mitigar emisiones, el sector agropecuario necesita medidas que impulsen la productividad y, al mismo tiempo, detengan o ralenticen la expansión de la frontera agrícola

Suministro de energía

Emisiones

El sector de suministro de energía comprende todos los procesos de extracción, conversión, almacenamiento, transmisión y distribución de la energía utilizada por los sectores de uso final, como la industria, el transporte, la agricultura y los hogares. Esto incluye la explotación de hidrocarburos y carbón, la refinación de petróleo y la generación de electricidad y calor¹². De este modo, las emisiones de GEI de este sector solamente corresponden a las generadas por estas actividades y no reflejan las ocasionadas por el consumo energético.

Este sector es responsable del 13 % de las emisiones de América Latina y el Caribe, una contribución muy por debajo del 34 % a nivel mundial. Esto se debe en parte al significativo peso que tiene el sector ASOUT en la región. Sin embargo, incluso si se excluye este último, el sector de suministro de energía sigue

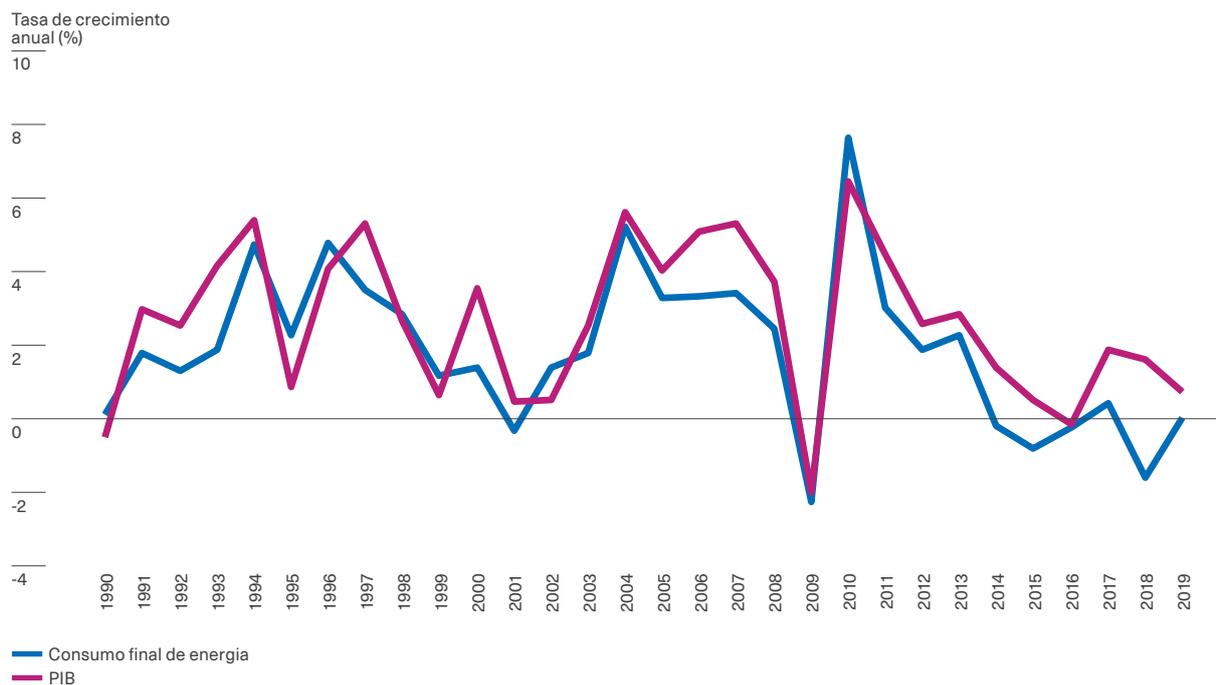
teniendo un menor peso en las emisiones de la región que a nivel mundial (31 % versus 44 %). Esto se explica por el menor consumo de energía per cápita en América Latina y el Caribe —asociado a sus menores niveles de ingreso per cápita— y porque su matriz eléctrica es relativamente limpia, como se muestra más adelante.

Es útil comenzar este apartado caracterizando el consumo energético de la región debido a que, en gran medida, determina el suministro de energía. En el periodo 1990-2019, el consumo final de energía aumentó un 74 %, impulsado por el crecimiento de las economías de la región. El gráfico 2.6 muestra la estrecha relación que existe entre el consumo de energía y el PIB, que se traduce en una alta correlación de 0,87 entre sus tasas anuales de crecimiento.

12 De aquí en adelante, se hará referencia a la electricidad y el calor simplemente como electricidad.

Gráfico 2.6

Consumo final de energía y PIB en América Latina y el Caribe en el período 1991-2019



Nota: El gráfico reporta la tasa de crecimiento anual porcentual del PIB a precios de mercado en moneda local (a precios constantes) y el consumo final de energía. Los agregados están expresados en USD a precios constantes del año 2010. La lista de los países incluidos en ALC se puede consultar en el apéndice del capítulo disponible en línea.

Fuente: Elaboración propia con datos de la AIE (2021a) y Banco Mundial (2022c).

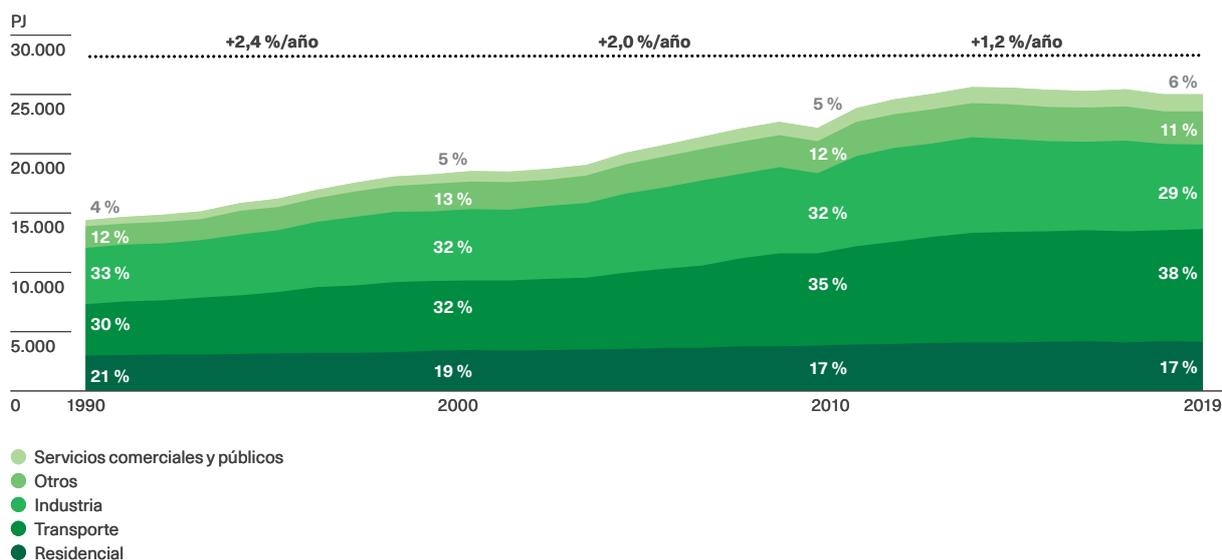
El consumo de energía fue impulsado por todos los sectores de la economía, especialmente el transporte, cuyo consumo creció un 120 %, lo cual se explica principalmente por la significativa expansión de la flota vehicular en la región (Kreuzer y Wilmsmeier, 2014). Como muestra el panel A del gráfico 2.7, el aumento en el consumo de energía se ha ido

desacelerando en los últimos 30 años. En la década de 1990, la tasa de crecimiento promedio anual fue del 2,4 %, mientras que en las décadas de 2000 y de 2010 fue del 2 % y 1,2 %, respectivamente. En esta última década, de hecho, el consumo alcanzó un pico en 2013, para luego iniciar un ligero declive del 2,3 % hasta 2019.

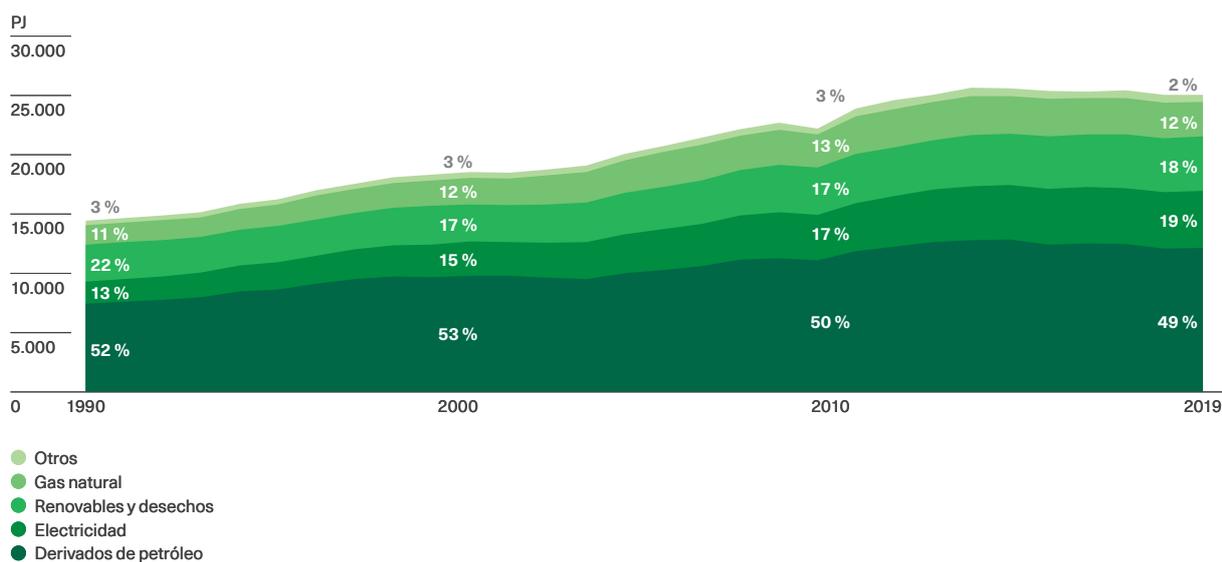
Gráfico 2.7

Consumo final de energía por sector y fuente en América Latina y el Caribe en el período 1990-2019

Panel A.
Consumo final por sector



Panel B.
Consumo final por fuente de energía



Nota: El gráfico muestra la evolución de la participación por sector del consumo final de energía en petajulios (PJ) para ALC durante el período indicado. Adicionalmente, se muestra la tasa interanual promedio por década. La lista de los países considerados en el gráfico se puede consultar en el apéndice del capítulo disponible en línea.

Fuente: Elaboración propia con datos de la AIE (2021a).

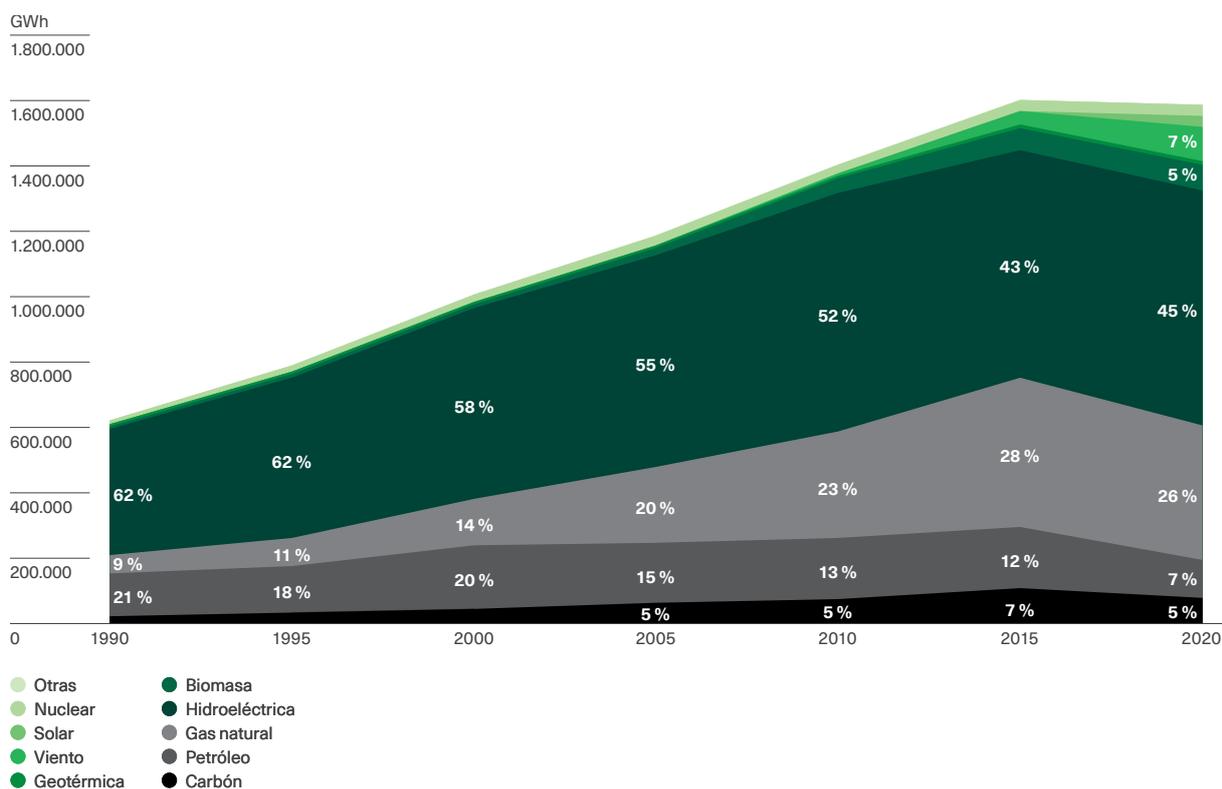
En el panel B del gráfico 2.7 se puede observar que este crecimiento en el consumo final de energía ha venido acompañado por un aumento en el consumo proveniente de todas las fuentes, especialmente la electricidad, que creció el 157 % durante el periodo 1990-2019, pasando de un 13 % a un 19 % del consumo final total. Por su parte, el gas natural creció un 83 %, aumentando ligeramente su participación. En cuanto a los derivados del petróleo, representan cerca de la mitad del consumo total de energía. Este consumo creció un 64 %, impulsado principalmente por el aumento en el sector del transporte mencionado anteriormente. Sin embargo, a partir de 2013, cuando el consumo de energía alcanzó su nivel máximo,

se observa una caída del consumo de derivados del petróleo del 5,1 % y del gas natural del 10,5 %.

El aumento en el consumo de electricidad vino acompañado por un incremento en el uso de todas las fuentes primarias de energía que son utilizadas para la generación eléctrica. El gráfico 2.8 muestra la evolución de la producción de electricidad por fuente en América Latina y el Caribe. Allí se aprecia que la electricidad proveniente de combustibles fósiles ha aumentado proporcionalmente más que la proveniente de fuentes renovables de energía. Esto ha resultado en un aumento de la participación de los combustibles fósiles del 34 % en 1990 al 38 % en 2020, a la vez que ha caído la participación de la energía renovable del 64 % al 60 %.

Gráfico 2.8

Producción de electricidad por fuentes de energía en América Latina y el Caribe en el período 1990-2020



Nota: El gráfico muestra la evolución de la producción de electricidad en gigavatio-hora (GWh) para el período indicado y la participación de fuentes de energía seleccionadas en ALC para los años 1990, 1995, 2000, 2010, 2015 y 2020. La lista de los países considerados en el gráfico se puede consultar en el apéndice del capítulo disponible en línea.

Fuente: Elaboración propia con datos de la AIE (2021a).

El aumento de combustibles fósiles en la generación eléctrica en la región se explica principalmente por el crecimiento en el uso del gas natural, cuya participación pasó del 9 % en 1990 al 26 % en 2020, mientras que el carbón experimentó un ligero incremento, del 4 % al 5 %, y el petróleo cayó del 21 % al 7 % en ese mismo periodo. A pesar de este aumento, la intensidad de uso de combustibles fósiles en la producción de electricidad en América Latina y el Caribe es significativamente más baja que en otras regiones del mundo (Lamb et al., 2021). Esta transición hacia el gas natural en detrimento de otros combustibles fósiles, añadido a la alta proporción de producción de electricidad a partir de fuentes renovables, en especial la hidroeléctrica, hace que la matriz eléctrica de la región sea mucho más limpia que la del resto del mundo.

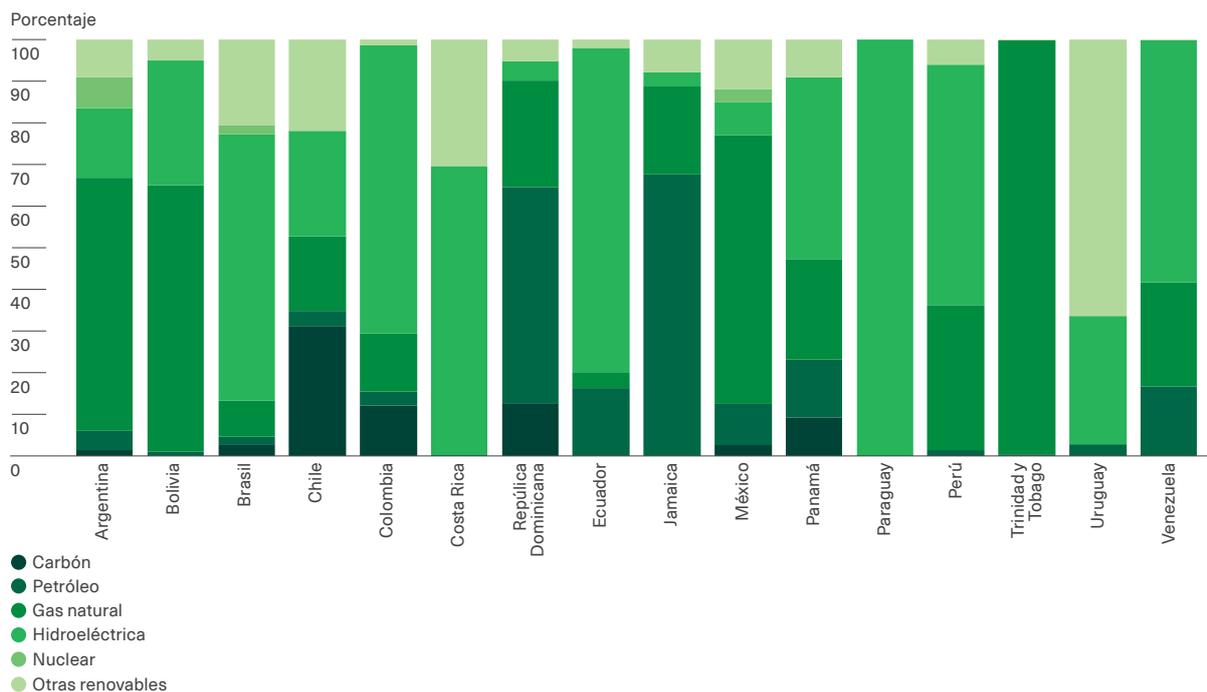
Dentro de la región, sin embargo, existe una alta heterogeneidad en la matriz eléctrica entre países, como muestra el gráfico 2.9. Allí se distinguen tres grupos.

Por un lado, se encuentran los países cuya generación eléctrica proviene mayoritariamente de fuentes renovables, en especial, la energía hidroeléctrica. En este grupo destacan Paraguay, Costa Rica y Uruguay, donde casi toda la electricidad proviene de esas fuentes. También pertenecen a este grupo Brasil, Colombia, Ecuador, Panamá, Perú y Venezuela, donde la energía hidroeléctrica es la fuente dominante.

El segundo grupo de países está compuesto por aquellos cuya generación eléctrica es mayoritariamente a partir de gas natural. Aquí se encuentran Argentina, Bolivia, México y, particularmente, Trinidad y Tobago. En este último casi toda la generación eléctrica proviene del gas natural (99,6 %), mientras que en los demás países esta cifra está sobre el 60 %. Por último, están los países donde dominan las fuentes más contaminantes en la producción de electricidad, el petróleo y el carbón. Aquí destacan Chile, República Dominicana y Jamaica.

Gráfico 2.9

Generación eléctrica por fuente de energía para países de América Latina y el Caribe en 2020



Nota: El gráfico muestra la participación de distintas fuentes de energía en la generación eléctrica en gigavatio-hora (GWh) en los países de ALC con información disponible.

Fuente: Elaboración propia con datos de la AIE (2021a).

Datos del Sistema de Información Energética de Latinoamérica y el Caribe (OLADE, 2022a) permiten clasificar a los países de la región de acuerdo con el grado de renovabilidad de la generación eléctrica. Estos indican que todos los países de Centroamérica, no solo Costa Rica y Panamá, tienen una matriz eléctrica mayoritariamente limpia. En esta subregión, el 76 % de la generación eléctrica proviene de fuentes renovables. En contraste, en el Caribe solo el 10 % de la electricidad es generada con esas fuentes.

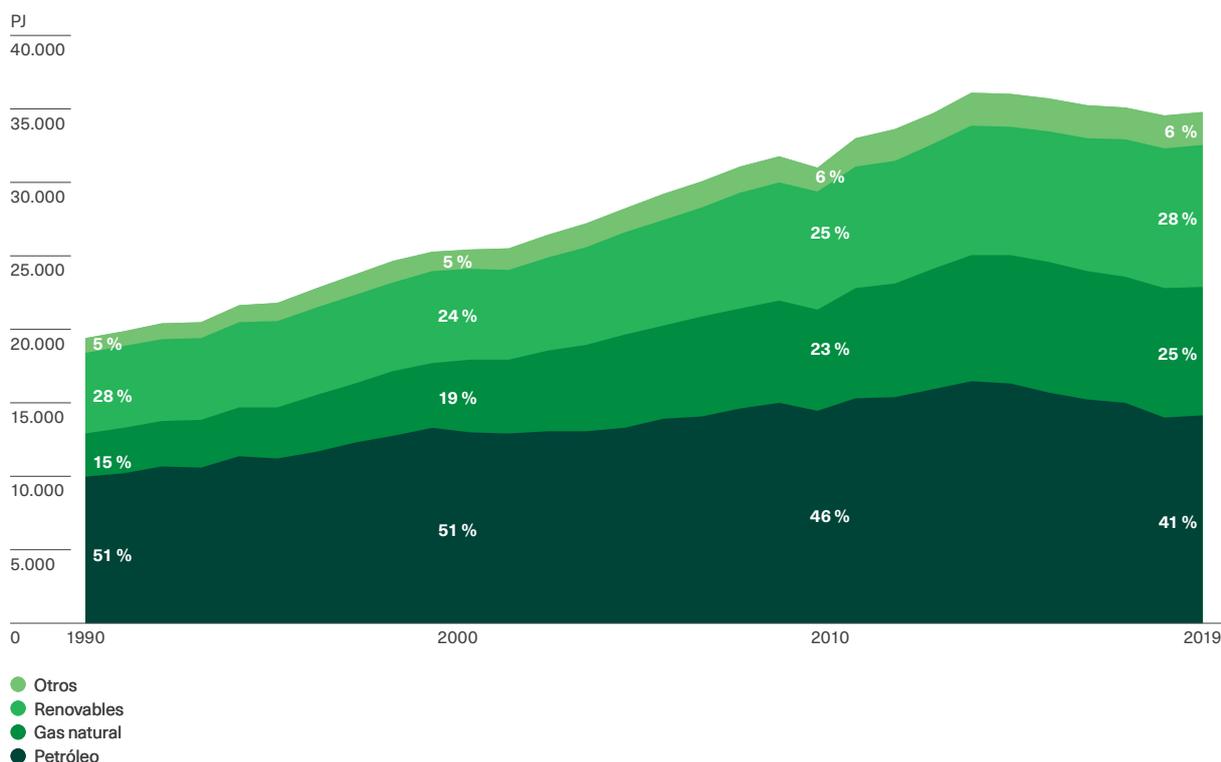
En cuanto a la oferta de energía en América Latina y el Caribe, el gráfico 2.10 muestra su evolución por fuente energética en el periodo 1990-2019. La oferta total aumentó un 78 % en ese periodo, impulsada principalmente por el gas natural, que casi se triplicó debido en gran parte a la creciente importancia que

ha adquirido este producto en la generación de electricidad. Esto ha provocado que la participación del gas natural como fuente de energía primaria pase del 15 % en 1990 a un 25 % en 2019. Por su parte, el petróleo ha perdido participación como fuente primaria de energía, bajando de un 51 % en 1990 a un 41 % en 2019, debido fundamentalmente a la disminución del uso de este hidrocarburo en la generación eléctrica, como se indicó anteriormente.

● ●
La alta participación del gas natural y de fuentes renovables hace que la matriz eléctrica de la región sea más limpia que la del resto del mundo

Gráfico 2.10

Oferta total de energía por fuentes en América Latina y el Caribe en el periodo 1990-2019



Nota: El gráfico presenta la evolución de la oferta total de energía en petajulios (PJ) para ALC en el periodo indicado y la participación por fuente de energía para los años 1990, 2000, 2010 y 2019. La lista de los países considerados en el gráfico se puede consultar en el apéndice del capítulo disponible en línea.

Fuente: Elaboración propia con datos de la AIE (2021a).

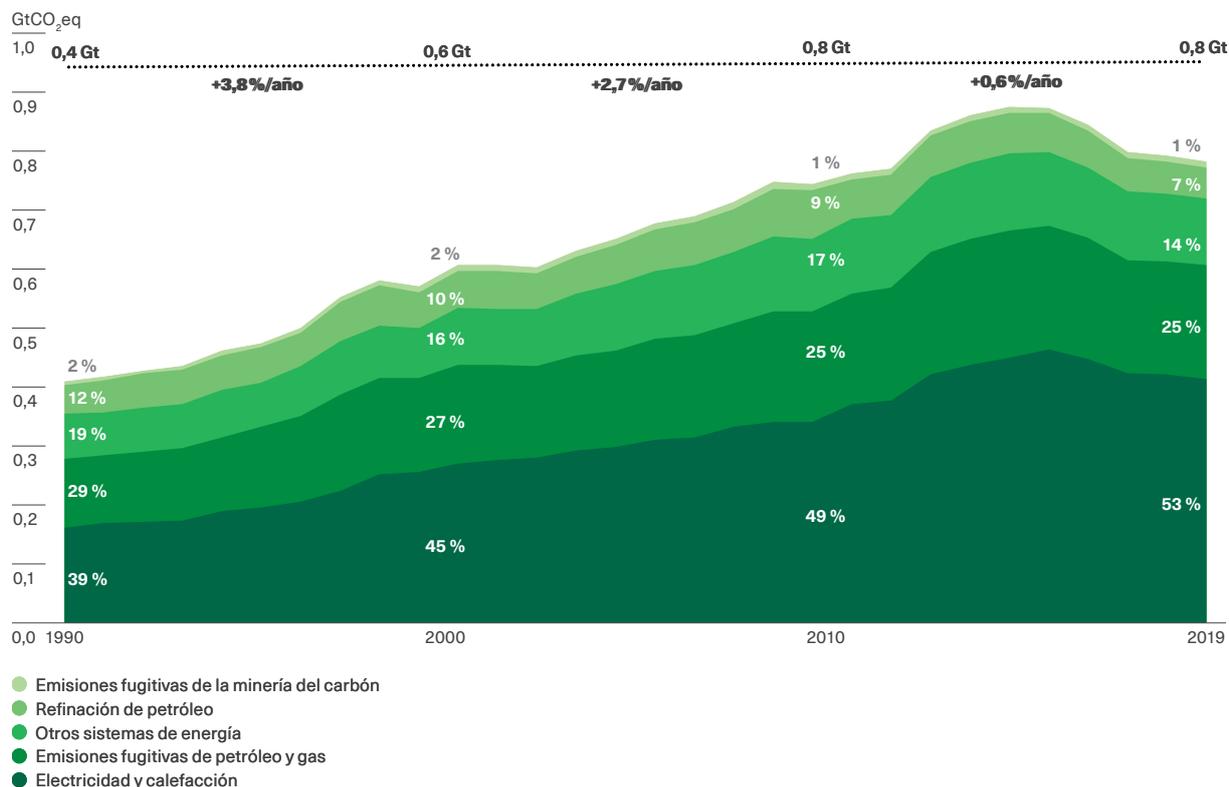
Esta evolución de la oferta de energía primaria en la región se refleja en el perfil de emisiones de GEI del sector de suministro de energía mostrado en el gráfico 2.11. Allí se aprecia que sus emisiones han aumentado un 91 % en los últimos 30 años. Sin embargo, de manera similar a lo observado con el consumo final de energía, el crecimiento de las emisiones se ha ido ralentizando durante ese mismo periodo e incluso estas han caído después de haber alcanzado un máximo en 2014.

El crecimiento de las emisiones de GEI durante las últimas tres décadas se debe en gran parte al aumento

de las emisiones provenientes de la generación de electricidad (y calefacción), que pasaron de ser un 39 % de las emisiones totales del sector en 1990 a un 53 % en 2019. A su vez, este aumento de la participación de la electricidad obedece al mayor acceso a este servicio en la región y al aumento en el uso de combustibles fósiles para su generación, como ya se ha mencionado. En la actualidad, solamente el 1,5 % de la población de América Latina y el Caribe no tiene acceso a electricidad mientras que, a comienzos de la década de 1990, esta cifra alcanzaba alrededor del 12 %, lo cual se debe sobre todo al mejor acceso de la población rural (Banco Mundial, 2022d).

Gráfico 2.11

Emisiones de GEI del sector de suministro de energía en América Latina y el Caribe en el período 1990-2019



Nota: El gráfico presenta la evolución de las emisiones de GEI en GtCO₂eq para el sector de sistemas de energía y la participación de los subsectores que lo componen en el período indicado. Adicionalmente, se reportan las emisiones totales para los años 1990, 2000, 2010 y 2019, junto con la variación interanual promedio de cada década. Los países incluidos en ALC son aquellos que se encuentran en la clasificación del IPCC en el Sexto Informe de Evaluación del Grupo de Trabajo III, capítulo dos (Dhakal et al., 2022).

Fuente: Elaboración propia con datos de Minx et al. (2021).

Si bien la matriz de generación de energía eléctrica de la región es relativamente limpia comparada con la de otras regiones del mundo, uno de los principales desafíos es cómo mantenerla o hacerla más limpia al tiempo que se satisface la creciente demanda de electricidad en un contexto de cambio climático.



El crecimiento de las emisiones de GEI del sector energético entre 1990 y 2019 se debe al aumento en la generación de electricidad, como causado por un mayor acceso a este servicio en la región

Necesidades de adaptación y mitigación al cambio climático

El escenario de continuismo (*business as usual*) de la Organización Latinoamericana de Energía (OLADE, 2022b), basado en los últimos planes referenciales de expansión del sector energético de los países de la región, proyecta que las fuentes fósiles de energía primaria mantendrán su predominio en América Latina y el Caribe para el año 2050¹³. También se espera que las fuentes renovables reduzcan ligeramente su participación del 30 % en 2020 al 28 % en 2050 debido principalmente a la caída de la participación de la biomasa en el consumo de energía —especialmente de la leña residencial, la cual es sustituida por fuentes fósiles— y al sustancial crecimiento del gas natural en la generación de electricidad.

Las proyecciones sobre generación eléctrica bajo este escenario prevén que el gas natural se convierta en la principal fuente de energía, pasando de una

participación del 27 % en 2020 al 35 % en 2050. Por su parte, las fuentes renovables de energía mantienen un peso prácticamente constante a pesar del pronunciado crecimiento de las fuentes de energía renovables no convencionales —como la eólica, la solar y la geotérmica—, cuya participación pasará del 10 % al 24 % en ese mismo periodo. La energía hidroeléctrica, por el contrario, pierde importancia en la generación eléctrica, pasando del 46 % al 32 %¹⁴.

Este escenario proyecta, además, un crecimiento de cerca del 90 % en el consumo final de energía en el periodo 2020-2050 —equivalente a un crecimiento del 2,1 % anual—, asociado a un fuerte aumento en el consumo de electricidad y petróleo. Esto presenta un panorama preocupante de las consecuencias de la inacción en cuanto a políticas de mitigación del cambio climático.

El incremento proyectado del uso de gas natural en la generación eléctrica permitiría reducir las emisiones —en la medida que sustituya fuentes más sucias como el carbón o el petróleo— y, al mismo tiempo, puede ser la clave para satisfacer la creciente demanda energética de la región. Esto es especialmente relevante dado los problemas actuales que enfrenta la región en términos de seguridad energética. Aunque solo el 1,5 % de la población de América Latina y el Caribe carece de acceso a la electricidad, la calidad de este servicio es deficiente debido a los relativamente frecuentes y largos cortes de suministro¹⁵, lo que genera interrupciones no solo para los hogares, sino también para los procesos productivos de las empresas. Por otro lado, el 15 % de la población utiliza leña y carbón vegetal como principal fuente de calefacción. Estas fuentes de biomasa, además de ser contaminantes para el medioambiente, son dañinas para la salud, liberando material particulado fino (MP_{2,5}).

Los principales problemas de acceso en la región los encuentran las poblaciones rurales. A este respecto, las fuentes de energía renovable, como la eólica y la solar, presentan una oportunidad dado que permiten

13 Más específicamente, este escenario "representa una proyección del sector energético de la región [...], elaborada a partir de los balances energéticos nacionales del año base (2020), los últimos planes, programas y políticas de desarrollo energético, publicados por los países miembros de OLADE, las correlaciones PIB-consumo de energía [...] y las previsiones de variación del PIB nominal [...]".

14 La energía nuclear tiene un rol menor en ALC y lo seguirá teniendo incluso en un escenario favorable de transición energética, con una reducción significativa de las emisiones de CO₂. Este papel marginal de la energía nuclear se debe principalmente a sus mayores costos, la escasa o inexistente disponibilidad de capital humano adecuado y la resistencia de la población, entre otros factores.

15 Según datos del Banco Mundial (2022e) sobre duración y frecuencia de las interrupciones del suministro eléctrico (específicamente los indicadores SAIDI y SAIFI, por sus siglas en inglés), los países de la región con datos disponibles sufrieron 11 interrupciones y un total de 15 horas de interrupciones en 2020. Como referencia, los países de alto ingreso, según la clasificación del Banco Mundial, excluyendo a los países de ALC en ese grupo y a Palau por tener un dato muy atípico, sufrieron en promedio menos de una interrupción al año, para un total de menos de una hora sin servicio eléctrico.

acceso a electricidad en zonas más remotas, sin la necesidad de la instalación y conexión de una red de infraestructura muy costosa.

El problema de la calidad del sistema eléctrico y del acceso a la electricidad se puede exacerbar por los efectos del cambio climático. Esto es especialmente relevante para la generación hidroeléctrica en la región y, sobre todo, en países como Brasil, Colombia, Costa Rica, Ecuador, Paraguay y Venezuela, cuya matriz eléctrica es altamente dependiente de esta fuente de energía. El aumento de las temperaturas, la mayor fluctuación de las precipitaciones y otros fenómenos atmosféricos provocan una mayor inestabilidad de los ciclos hidrológicos y un aumento de las pérdidas por evaporación de los embalses, lo cual tiene un impacto importante en el flujo y disponibilidad de agua y, consecuentemente, en la generación hidroeléctrica. Esto plantea el desafío de identificar y diseñar las medidas efectivas para minimizar los efectos adversos del cambio climático en el sistema hidroeléctrico de la región y mejorar su resiliencia¹⁶.



El problema de la calidad del sistema eléctrico y del acceso a la electricidad se puede exacerbar por los efectos del cambio climático, principalmente en países altamente dependientes de la generación hidroeléctrica

Al mismo tiempo, los eventos climáticos extremos, cada vez más frecuentes debido al cambio climático, pueden provocar daños a la infraestructura energética, en particular, a la de transmisión y distribución eléctrica. Este tipo de eventos representa una amenaza no solo para la infraestructura tradicional actual, que en algunos casos puede no estar diseñada para soportarlos, sino también para la de energías renovables, como los parques solares y eólicos, que dependen de las condiciones atmosféricas. Esto plantea un desafío para la transición energética en la región y afianza aún más la necesidad de contar con fuentes alternativas como salvaguardia.

Otros sectores: transporte, industria y edificaciones

Emisiones en el transporte

El sector del transporte incluye el movimiento de personas o bienes mediante vehículos, como automóviles, camiones y motocicletas, o en aviones, barcos, ferrocarriles y por tuberías. Este sector es responsable del 11 % de las emisiones de GEI en América Latina y el Caribe (ver el gráfico 2.1) y contribuye con el 35 % de las emisiones de CO₂ relacionadas con el consumo de combustibles fósiles, mucho mayor que el 23 % observado a nivel mundial.

El elevado peso del sector en las emisiones de CO₂ se debe principalmente a la preponderancia del transporte por carretera en la región. Esto se refleja, entre otras cosas, en las altas tasas de uso del transporte automotor de carga (TAC). Alrededor de tres cuartas partes del movimiento interurbano de cargas a nivel

nacional se hace por esa vía. En los países de la región, exceptuando a Brasil y México, que cuentan con una red ferroviaria más desarrollada, más del 90 % de las toneladas/km transportadas van por carretera. Además, el TAC también juega un rol importante en el comercio intrarregional. Por ejemplo, en Sudamérica, el 30 % del volumen del comercio intrarregional es desplazado por camión, mientras que en Centroamérica prácticamente todo se transporta por este medio. Asimismo, el TAC domina el movimiento de mercancías dentro de las ciudades (Barbero et al., 2020).

Como se muestra en el gráfico 2.12, el transporte por carretera fue responsable del 88 % de las emisiones de GEI de todo el sector en 2019, aumentando ligeramente desde un 85 % en 1990. Las emisiones del transporte por carretera y de todo el sector prácticamente se duplicaron en ese periodo debido principalmente al rápido crecimiento de la flota de vehículos, tanto particulares

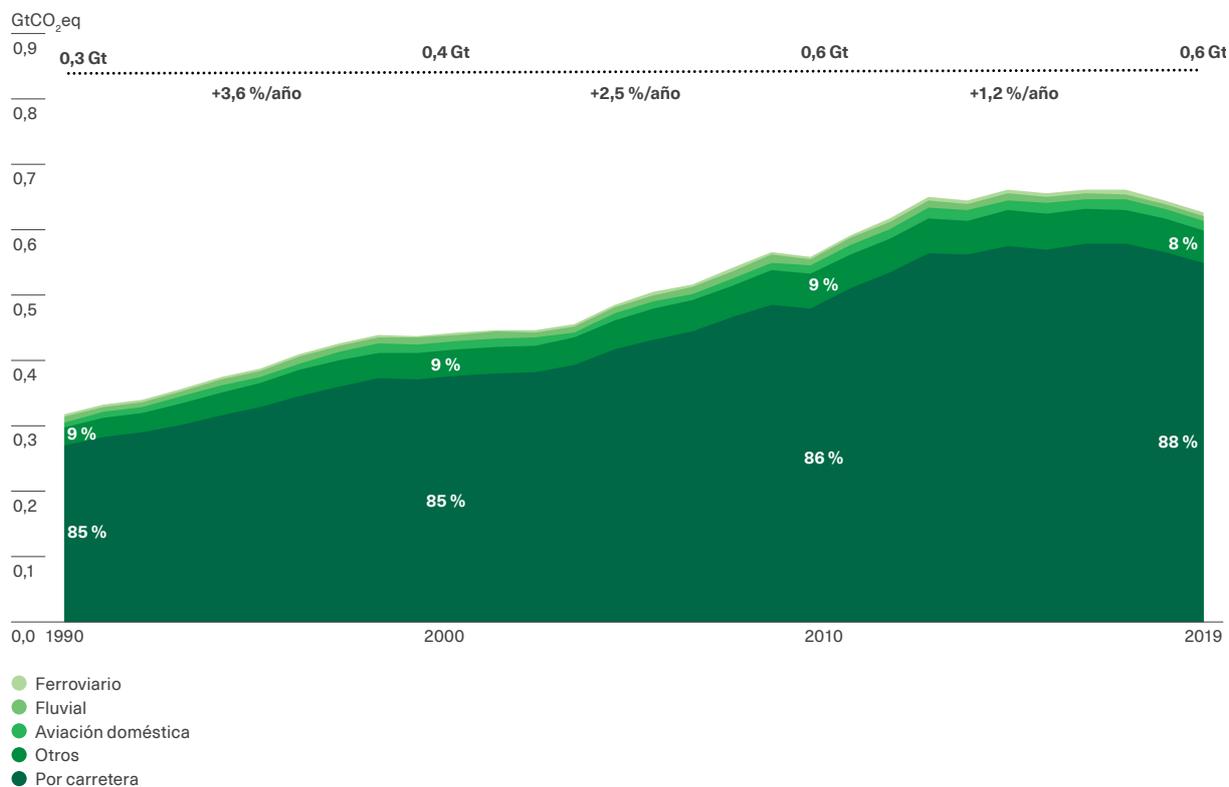
¹⁶ La AIE (2021b) trata con detalle este tema.

como de carga¹⁷, y a los bajos impuestos a los combustibles en la región¹⁸. El aumento de la flota vehicular se explica por el crecimiento poblacional y, sobre todo, por el significativo incremento de la tasa de motorización, la cual, a su vez, ha sido impulsada por el crecimiento de los ingresos, la expansión de la clase media y la mayor disponibilidad de vehículos de bajo costo¹⁹. De hecho, cuando se compara el crecimiento de las emisiones con

el del PIB, se observa una alta correlación de 0,75. Las emisiones del sector crecieron especialmente rápido durante la década de los noventa, coincidiendo aún más con las tasas de crecimiento del PIB. En los últimos 10 años, sin embargo, se observa una disminución en el crecimiento de las emisiones, las cuales incluso caen a partir de 2016 debido, en parte, a la desaceleración que sufre la economía regional desde 2015.

Gráfico 2.12

Emisiones de GEI del sector de transporte por tipo de medio utilizado en América Latina y el Caribe en el período 1990-2019



Nota: El gráfico reporta la evolución de las emisiones de GEI en GtCO₂eq del sector de transporte para el período 1990-2019 en ALC y la participación de cada subsector. Adicionalmente, se presentan los totales de GEI para los años 1990, 2000, 2010 y 2019, junto con su variación interanual promedio en cada década. Los países incluidos en ALC son aquellos que se encuentran en la clasificación del IPCC en el Sexto Informe de Evaluación del Grupo de Trabajo III, capítulo dos (Dhakal et al., 2022).

Fuente: Elaboración propia con datos de Minx et al. (2021).

17 Ver Barbero et al. (2020), Rivas et al. (2019), CEPAL (2019), Viscidi y O'Connor (2017), entre otros.

18 Ver datos de impuestos a la gasolina y el diésel por países en U.S. Department of Energy (2022).

19 Ver de la Torre et al. (2009), Estupiñan et al. (2018) y Yañez-Pagans et al. (2018).



Finalmente, el aumento de las tasas de motorización, junto con la inadecuada infraestructura vial, ha provocado altos niveles de congestión en las grandes ciudades de la región, incrementando significativamente los tiempos de viaje, el consumo de combustible y la emisión de contaminantes. Esto se refleja en las altas tasas de ocupación de las carreteras observadas en los países de la región, que, según muestra Dulac (2013), se sitúan muy por encima de las demás regiones del mundo²⁰.

Emisiones en la industria

La industria contribuyó con el 16 % de las emisiones de GEI en América Latina y el Caribe en 2019 y fue el segundo sector con más emisiones después del ASOUT (gráfico 2.1). El sector industrial ha aumentado ligeramente su participación desde 1990, cuando era responsable del 14 % de las emisiones. Como muestra el gráfico 2.13, el manejo de desechos es la actividad que más contribuye a las emisiones del sector, siendo responsable del 38 % de las mismas en 2019. El subsector químico es también importante, ya que causa el 18 % de las emisiones, seguido por los de metales y cemento, que contribuyen con el 9 % y el 7 %, respectivamente. Sin embargo, más de la cuarta parte de las emisiones de la industria provienen del resto de actividades industriales.



La industria contribuyó con el 16 % de las emisiones de GEI en América Latina y el Caribe en 2019 y fue el segundo sector con más emisiones después de ASOUT

En el periodo 1990-2019, las emisiones de la industria aumentaron un 85 %, impulsadas principalmente por el subsector químico y otras industrias que crecieron un 124 % y un 116 %, respectivamente. Este aumento está altamente asociado al comportamiento del PIB industrial regional, lo cual se refleja en una alta correlación de 0,77 entre las tasas anuales de variación de ambas variables en el mismo periodo²¹.

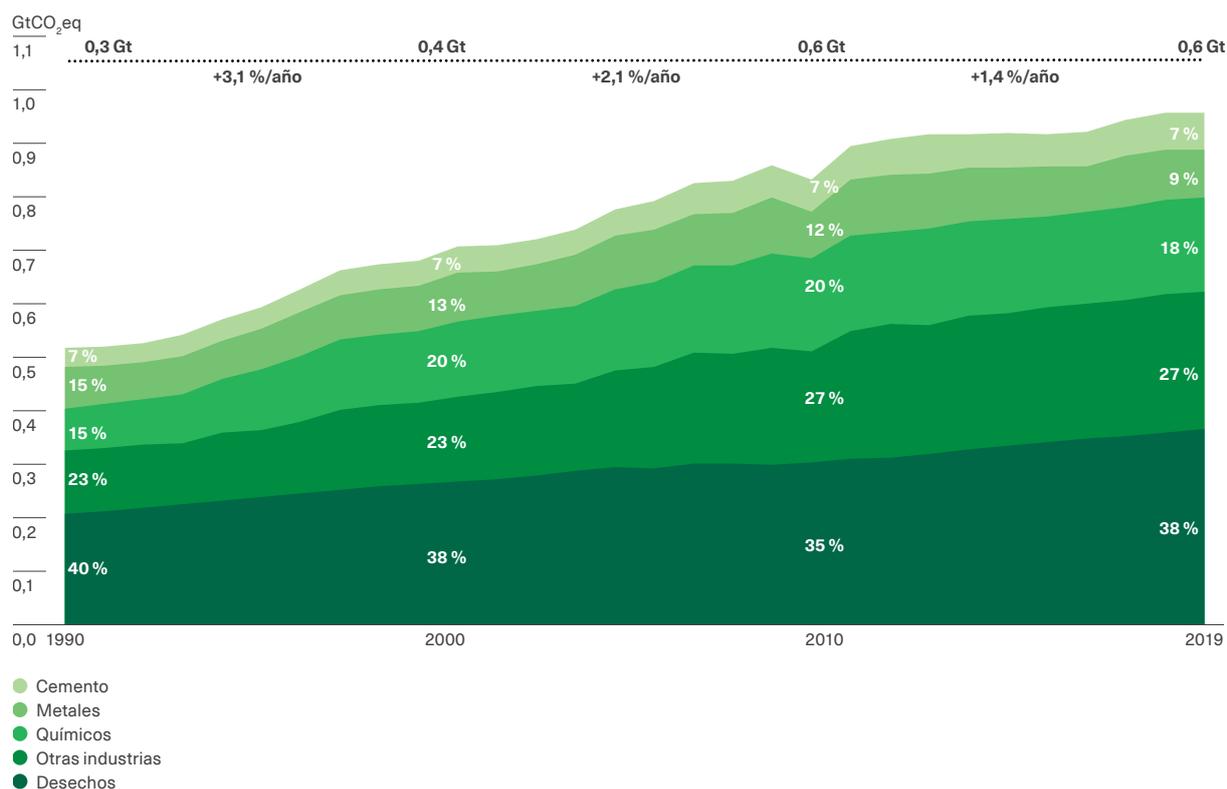
Cuando se toman en cuenta las emisiones indirectas asociadas a su consumo de electricidad (generada *off-site*), la participación de la industria en las emisiones totales de GEI en la región aumenta a un 19 % en 2019. Las emisiones indirectas de la industria representan el 42 % de todas las emisiones provenientes de la generación de electricidad y, como referencia, son aproximadamente iguales a las emisiones directas de la industria química.

20 La tasa de ocupación vial en 2010 fue de alrededor de 1,1 millones de vehículos-km por carril-km pavimentado, mientras que el promedio mundial es de 450.000.

21 La tasa de crecimiento anual del PIB industrial es tomada del Banco Mundial (2022c) y se refiere específicamente a la variación porcentual del valor agregado industrial en moneda local, a precios constantes. Los agregados están expresados en dólares de los Estados Unidos a precios constantes del año 2010.

Gráfico 2.13

Emisiones de GEI del sector industrial en América Latina y el Caribe en el período 1990-2019



Nota: El gráfico presenta la evolución de las emisiones de GEI en GtCO₂eq del sector industrial para el período indicado y la participación de cada subsector. Adicionalmente, se presentan los totales de GEI para los años 1990, 2000, 2010 y 2019, junto con su variación interanual promedio en cada década. Los países incluidos en ALC son aquellos que se encuentran en la clasificación del IPCC en el Sexto Informe de Evaluación del Grupo de Trabajo III, capítulo dos (Dhakal et al., 2022).

Fuente: Elaboración propia con datos de Minx et al. (2021).

Emisiones en edificaciones

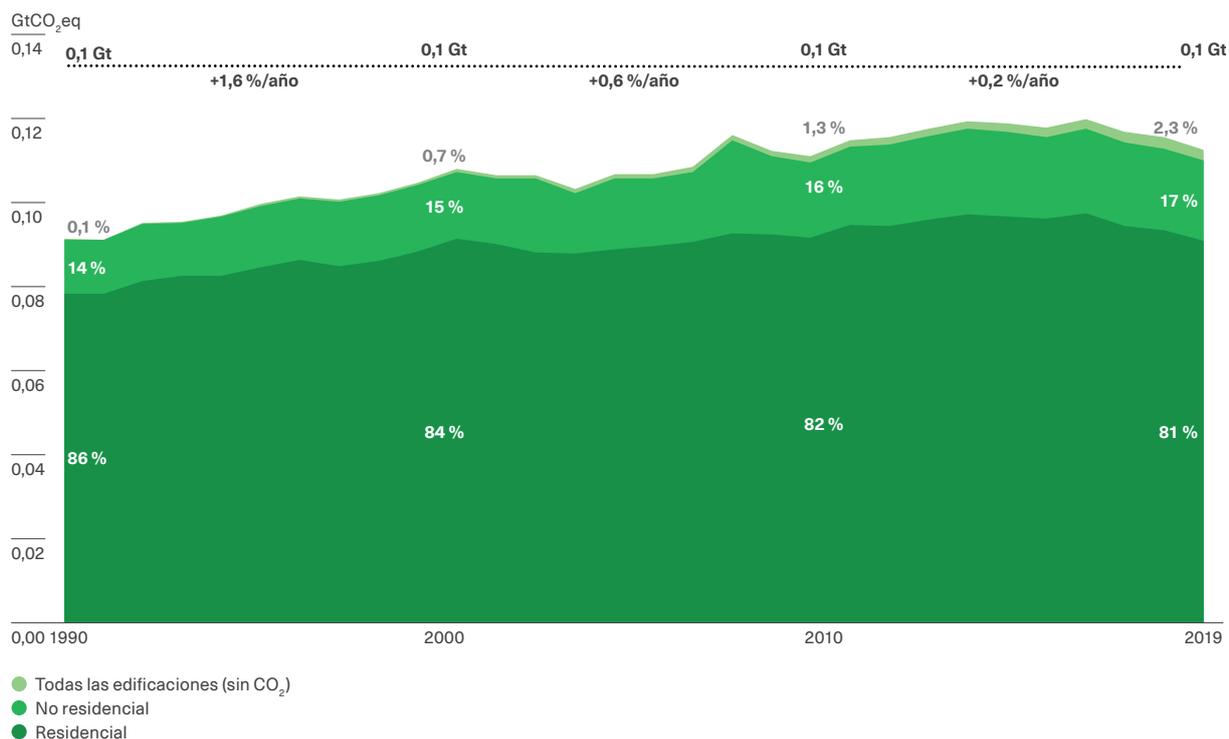
El sector de edificaciones se refiere al uso y operación de edificios tanto residenciales como comerciales. Las emisiones de GEI de este sector provienen del consumo de energía para calefacción, refrigeración, iluminación, calentar agua, cocinar, el funcionamiento de electrodomésticos, equipos electrónicos y de oficina, etc. También incluyen la fuga de gases fluorados usados en la refrigeración y los aires acondicionados. La mayoría de estas emisiones son indirectas, provenientes de la generación externa de electricidad. El resto son emisiones directas que

resultan principalmente de la quema de combustibles fósiles y biomasa para calefacción, agua caliente y cocina, así como la generación de electricidad in situ. En 2019, las emisiones directas de edificaciones fueron responsables solo del 2 % de las emisiones totales de GEI en América Latina y el Caribe (ver el gráfico 2.1).

El sector residencial contribuye con el 81 % de las emisiones directas de todo el sector, mientras el no residencial aporta el 17 %. El 2 % restante corresponde a la fuga de hidrofluorocarbonos comúnmente utilizados en sistemas de refrigeración, gases de efecto invernadero muy potentes (ver el gráfico 2.14).

Gráfico 2.14

Emisiones de GEI del sector de edificaciones en América Latina y el Caribe en el período 1990-2019



Nota: El gráfico presenta la evolución de las emisiones de GEI en GtCO₂eq del sector de edificaciones para el período indicado y la participación de cada subsector. Adicionalmente, se presentan los totales de GEI para los años 1990, 2000, 2010 y 2019, junto con su variación interanual promedio en cada década. Los países incluidos en ALC son aquellos que se encuentran en la clasificación del IPCC en el Sexto Informe de Evaluación del Grupo de Trabajo III, capítulo dos (Dhakal et al., 2022).

Fuente: Elaboración propia con datos de Minx et al. (2021).

Por su parte, las emisiones indirectas de GEI de las edificaciones representan más del 3 % del total de la región y el 46 % del total del subsector eléctrico de suministro de energía. En conjunto, las emisiones directas e indirectas contribuyeron con el 5,1 % del total de emisiones de la región.

Es importante señalar que estas cifras no incluyen las emisiones asociadas a la construcción y rehabilitación de edificaciones, en especial aquellas provenientes de la producción de cemento y acero usado en la construcción. Si esto se tomara en cuenta, las edificaciones serían responsables de alrededor del 7 % de las emisiones de GEI en la región²².

²² A nivel mundial, las emisiones asociadas a la producción de cemento y acero para la construcción equivalen al 75 % de las emisiones directas de las edificaciones (IPCC, 2022a). Si eso lo trasladamos a ALC, éstas equivaldrían a un 1,5 % de las emisiones totales de la región. Por otro lado, la industria de cemento, sin tomar en cuenta sus emisiones indirectas por el uso de electricidad, es responsable del 1,2 % de las emisiones de la región. Si se suman estas emisiones a las directas e indirectas del sector de edificaciones, esto equivale al 6,3 % de las totales, sin haber tomado en cuenta aún las emisiones relacionadas con la producción de acero y las indirectas del cemento. Considerando todo esto, el 7 % parece una cifra razonable.

De este modo, el sector de edificaciones es un importante emisor de GEI tanto a través del uso de combustibles fósiles en la operación de edificios como por las emisiones asociadas con la producción de materiales de construcción, el transporte de materiales y la construcción y demolición de edificios.

Necesidades de adaptación y mitigación al cambio climático en transporte, industria y edificaciones

El gran desafío que enfrenta el sector del transporte es encontrar formas de reducir las emisiones de carbono y, al mismo tiempo, mantener a las personas y los bienes en movimiento. Aunque este desafío no es exclusivo de América Latina y el Caribe, la región enfrenta retos particulares en este sentido.

En primer lugar, la región tiene una creciente dependencia de los vehículos privados. Esto ha traído como consecuencia que la proporción de viajes urbanos en transporte público hayan disminuido, mientras que los viajes en transporte privado han aumentado. Esta tendencia en la partición modal de viajes urbanos, contraria a la observada en Europa, se debe a la falta de una adecuada infraestructura de transporte público y una planificación inadecuada para la movilidad urbana sostenible que, como se ha mencionado, ha provocado un aumento de la congestión vial. Si bien esto podría servir de incentivo para la adopción de modos de transporte sostenible, muchos países de la región carecen de la infraestructura necesaria para ello, como ciclovías o caminos peatonales, y sistemas de transporte público adecuados, lo que dificulta el cambio.

Este panorama plantea la necesidad de desarrollar una infraestructura de transporte sostenible, a la vez que se promueven cambios de comportamiento en los ciudadanos a favor del uso de medios del transporte público y modos activos, como la bicicleta y los desplazamientos a pie. Las políticas públicas en este sentido y sus implicaciones son discutidas en el apartado “Transporte: electrificación y movilidad sustentable”.

El cambio climático puede afectar la infraestructura de transporte, como las carreteras, los puentes y puertos. Esto presenta el reto de construir infraestructura más resistente a los impactos del cambio climático, como el aumento del nivel del mar y los eventos climáticos extremos.

Por su parte, el sector industrial tiene el reto de aumentar la eficiencia energética, adoptar tecnologías bajas en carbono y utilizar fuentes de energía renovable para reducir las emisiones. La industria también necesita adaptarse a los impactos físicos del cambio climático, como los eventos climáticos extremos, haciendo más resiliente su infraestructura, sus operaciones y las cadenas de suministro.

Finalmente, el sector de edificaciones tiene un papel importante en la adaptación al cambio climático, ya que los edificios deben diseñarse y construirse para soportar los impactos de este fenómeno, como las olas de calor, las inundaciones y otros eventos climáticos extremos. En cuanto a mitigación, el informe del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, 2022a) destaca la importancia de mejorar la eficiencia energética de los edificios, reducir las emisiones de GEI durante su construcción y operación y aumentar la utilización de energía renovable para lograr reducciones significativas de emisiones y promover la resiliencia climática.

Precios al carbono

La política de precios al carbono se considera la más eficiente dado que crea un incentivo financiero a los agentes para que reduzcan sus emisiones, permitiendo que estas sean mitigadas al menor costo posible. Esta política pone un precio a las emisiones de CO₂ y demás GEI, reconociendo el costo que estos gases tienen para el medioambiente y la sociedad. Esta política reduce las emisiones de dos formas principales. Primero, aumenta el precio de los productos con alta huella de carbono, como es el caso de los derivados del petróleo y los que utilizan combustibles fósiles en su proceso productivo, la generación eléctrica y la producción y el transporte de alimentos. El aumento de precios provoca un descenso en la demanda, lo que reduce la producción de estos bienes, disminuyendo las emisiones de CO₂. Un ejemplo de esto es la política de piso de precio al carbono impuesto por el Reino Unido en 2013, el cual, según Leroutier (2022), llevó a la reducción progresiva de la generación eléctrica a partir de carbón, disminuyendo la contribución de este combustible en la matriz eléctrica del 40 % en 2013 al 5 % en 2018. La segunda forma en la que los precios al carbono reducen las emisiones es creando incentivos a las empresas y los consumidores para invertir en tecnologías más limpias. Sin un precio a las emisiones, una firma puede decidir no invertir en tecnologías verdes, como, por ejemplo, paneles solares, porque en términos económicos la inversión puede no ser rentable. El precio al carbono puede alterar este análisis de costo-beneficio, estimulando el desarrollo y adopción de tecnologías verdes. En ese sentido, una política de precio al carbono global puede ser una señal para acelerar aún más estas inversiones en investigación y desarrollo (I+D).

Existen dos formas de implementación de esta política. La primera son los impuestos al carbono, que simplemente fijan un costo de emisión por tonelada de CO₂eq²³ a cada uno de los emisores o a un subgrupo de estos. Mediante ese mecanismo, esta política deja que el mercado ajuste la cantidad de emisiones. La otra forma de implementación es el sistema de permisos de emisiones con el comercio de estos. Esta política limita la cantidad de emisiones, que es igual a la de los permisos emitidos, mientras que el precio al carbono es determinado por el mercado a partir del comercio de dichos permisos. En América Latina y el Caribe existen iniciativas de precios al carbono en cinco países: Argentina, Chile, Colombia, México y Uruguay. Todas estas iniciativas son de impuestos al carbono, con la particularidad de México, el cual tiene a su vez esquemas subnacionales de este tipo en Baja California, Tamaulipas y Zacatecas, además de un proyecto piloto de mercados de permisos aplicado al sector energético y la industria. En Europa y Estados Unidos, existen más iniciativas de permisos de carbono. El capítulo 4 desarrolla en mayor profundidad el tema de las iniciativas vigentes de precios al carbono y el recuadro 2.2 hace una comparación más exhaustiva de las dos formas de implementación de esta política.



La política de precios al carbono se considera la más eficiente para la reducción de emisiones, dado que crea un incentivo financiero para los agentes

23 El equivalente de CO₂ es una medida utilizada para comparar el impacto climático de diferentes gases de efecto invernadero en función de su capacidad para retener el calor en la atmósfera y el tiempo que permanecen en ella.

Recuadro 2.2

Comparación entre impuestos al carbono y permisos de emisiones con comercio

En teoría, ambas políticas son equivalentes en cuanto a la reducción esperada de emisiones y el impacto en los precios, aunque presentan diferentes ventajas y limitaciones. La principal ventaja del impuesto al carbono es la simplicidad y flexibilidad del instrumento. El impuesto simplemente fija un precio a las emisiones y permite al mercado que se adapte. Este sistema es además el más inmediato, dado que los efectos se materializarían con la introducción del tributo, mientras que el sistema de permisos requiere mayor tiempo de implementación. Sin embargo, el precio al carbono no asegura que las reducciones en emisiones sean las deseadas. Para que este sea efectivo, es necesario fijar un precio que induzca las reducciones deseadas en las emisiones. Por ejemplo, existen casos donde se han fijado impuestos al carbono relativamente bajos (del orden de los USD 20 por tonelada de CO₂eq), que no permiten alcanzar la reducción de emisiones necesarias para lograr las metas globales y, en algunos casos, para los cumplimientos de las propias contribuciones determinadas nacionalmente (CDN). Esta no es una debilidad del instrumento en sí, sino de su implementación o una consecuencia de las resistencias políticas y sociales que puede tener un impuesto elevado. El sistema de permisos permite fijar una cantidad máxima de emisiones, por ejemplo, igual al compromiso de emisiones de las CDN, generando una obligación mayor al cumplimiento de metas ambientales.

Otra ventaja del sistema de permisos es que, a medida que las economías se ajustan al sistema y comienzan a invertir más en tecnologías verdes, reduciendo las emisiones totales, el costo de cada tonelada de carbono debería disminuir. Estos cambios en los precios también se observan en períodos de recesión o de crecimiento de la economía. En el caso de los permisos, el precio se ajusta en el mercado, mientras que el impuesto debería ser actualizado de forma administrativa para que refleje el nuevo costo social del carbono.

Sin embargo, la política de permisos requiere mayores esfuerzos de implementación. Si bien ambas políticas necesitan un monitoreo de las emisiones, un sistema de penalizaciones y un seguimiento del precio (en el caso de los impuestos) o de la cantidad de permisos, la política de permisos tiene la complejidad extra del sistema de asignación de permisos. Este puede ser por emisiones históricas, donde el gobierno distribuye los permisos de forma gratuita según el histórico de emisiones, o mediante subasta. Este último es el mecanismo preferido recientemente y permite, a su vez, generar ingresos fiscales de la misma forma que se obtendrían con el impuesto.

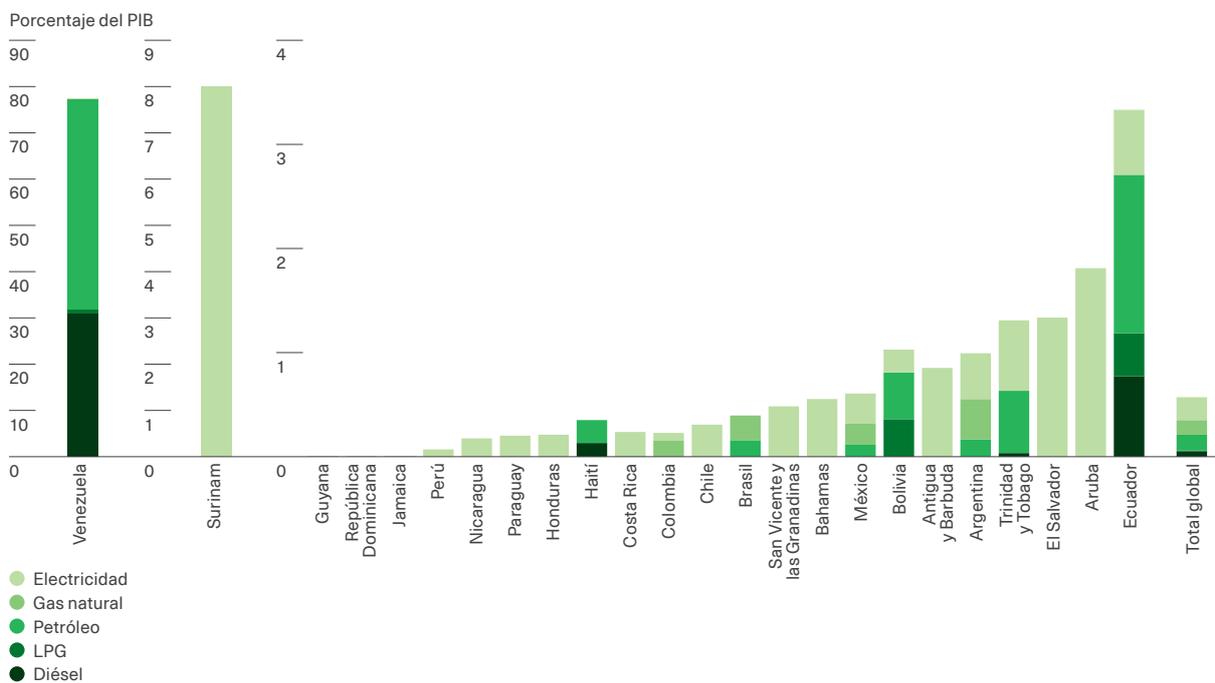
Otra diferencia principal son los mecanismos de cooperación internacional disponibles según cuál sea el sistema implementado. En el caso del impuesto al carbono, las únicas políticas de coordinación posibles son la unificación global del precio por tonelada de carbono o el mecanismo de ajuste en la frontera por contenido de carbono (CBAM, por sus siglas en inglés). Dicho mecanismo permite a los países cobrar un impuesto al carbono a los productos importados, de forma que el precio al carbono de estos se iguale con el de los productos domésticos. De esta forma se evita la “fuga” de carbono, es decir, que la producción “sucia” se traslade a economías que no tengan precios al carbono. El capítulo 4 discute en mayor detalle este mecanismo y las experiencias actuales.

Una diferencia adicional relevante está en la volatilidad de ambos sistemas. Mientras el impuesto fija un precio al carbono o, en algunos casos, un calendario de precios, el precio al carbono puede fluctuar en el sistema de permisos. Esta variabilidad en los precios tiene impactos en los consumidores, pero también en los proyectos de inversión de las empresas. El mercado de combustibles ya es un mercado con precios que sufren fuertes cambios, los cuales tienen importantes impactos, por ejemplo, en los precios al consumo, por lo que el sistema de permisos podría aumentar aún más esta volatilidad.

Más allá del instrumento a utilizar, los precios al carbono surgen como una política eficiente, necesaria y urgente. Es quizás esta necesidad y urgencia lo que pone en evidencia la gran contradicción que suponen los actuales subsidios a fuentes contaminantes, que existen en la mayoría de las economías mundiales. Parry et al. (2021) muestran que mundialmente el nivel de subsidios ronda entre los USD 400.000 y 600.000 millones al año, mientras que, en América Latina y el Caribe, son cercanos a los USD 44.000 millones anuales, equivalentes aproximadamente al 1 % del PIB de la región, con un rango, según los países, que va desde poco más del 0 % hasta el 46 % de su PIB. En el primer caso se encuentran Guatemala,

que tiene subsidios pequeños al diésel y el petróleo, Guyana, República Dominicana y Jamaica, con subsidios a la electricidad. El máximo valor se observa en Venezuela, donde casi todos los subsidios son para el diésel y el petróleo. El gráfico 2.15 muestra los subsidios a hidrocarburos por país como proporción del respectivo PIB. Se observa que una gran parte de los países de la región subsidia la electricidad y un grupo no menor, el petróleo. Estos subsidios actúan de forma opuesta a los impuestos al carbono, fomentando el consumo de combustibles fósiles. Uno de los caminos iniciales que debería emprender la región es la disminución progresiva de estos subsidios hasta su eliminación total.

Gráfico 2.15
Subsidios a hidrocarburos en países de América Latina y el Caribe en 2020



Nota: El gráfico reporta los subsidios explícitos a hidrocarburos en los países de ALC con información disponible para el año 2020. Un subsidio explícito se entiende como la diferencia entre el precio minorista y el costo de suministro de un combustible. En el caso del total global, se sumó el subsidio total de cada fuente de energía para todas las regiones disponibles y se dividió cada uno por la suma del PIB de dichas regiones. Ambos indicadores (subsidios y PIB) están medidos en miles de millones de dólares. Para más información metodológica puede consultarse la fuente de los datos.

Fuente: Elaboración propia con base en datos del FMI (2022a).

Parry et al. (2021) identifican también lo que ellos llaman el precio eficiente de estos bienes, el cual sería el precio que refleja no solo los costos de producción y distribución, sino también los costos medioambientales tanto en emisiones de carbono como en polución del aire y congestión en el tránsito vehicular. Ajustados los precios de esta forma, el diferencial entre los precios actuales y los precios eficientes es de cerca de USD 6.000 millones. Este diferencial es principalmente explicado por los costos ambientales no internalizados en los precios (cerca del 90 % del diferencial). Los autores también muestran cómo, si se cobraran precios eficientes, la proyección de emisiones de GEI se reduciría de tal forma que se cumpliría la meta de 1,5°C de aumento de las temperaturas para 2050. Esto no es otra cosa que la aplicación de un impuesto al carbono que internalizaría todos estos costos ambientales, en conjunto con la eliminación de los subsidios actuales a las fuentes contaminantes.



Si bien la política de precios al carbono es la más eficiente y la que resultaría en reducciones más inmediatas en emisiones, es insuficiente si no va acompañada de otras políticas de mitigación

Una de las principales debilidades de los precios al carbono, que ha generado un gran debate político, es su impacto desigual. Por ejemplo, si la política abarcara todas las fuentes de emisión de GEI, la producción agrícola debería pagar el impuesto, ocasionando un aumento en los precios de los alimentos y profundizando aún más la problemática de la seguridad alimentaria. Es de destacar que Blanchard et al. (2022) sugieren la implementación de un impuesto general que abarque todas las fuentes de emisión de GEI, lo que permitiría la reducción de emisiones por parte del sector agropecuario e indirectamente desincentivaría la expansión agrícola, reduciendo las emisiones del UTCUTS.

Pero el impacto desigual no es solamente en alimentos. Los hogares con menos ingresos dedican una proporción mayor de su renta a alimentos, electricidad, calefacción y transporte público. Los precios de todos estos bienes aumentarían con la aplicación de un sistema de precios al carbono y la eliminación de los subsidios, generando que el sistema impositivo sea más regresivo. Es por eso que se han discutido diversas alternativas de política que utilizan la recaudación o parte de la recaudación del sistema y logran que, con esta redistribución, el impuesto al carbono no sea regresivo (Blanchard et al., 2022; Metcalf, 2007; Stavins, 2020). Esto mismo podría ser aplicado para redistribuir los actuales subsidios y compensar el impacto regresivo de su eliminación. Como ejemplo, la redistribución mediante transferencias de suma fija, las reducciones impositivas a la renta o una combinación de ambas podrían hacer que el impuesto sea neutral tanto desde el punto de vista de los ingresos impositivos como de los impactos distributivos.

Si bien la política de precios al carbono es la más eficiente y la que resultaría en reducciones más inmediatas en emisiones, es insuficiente si no va acompañada de otras políticas de mitigación. Esto se explica principalmente por las externalidades positivas que implican las inversiones en I+D. Cuando una empresa invierte en una nueva tecnología, los beneficios privados que recibe son solo una parte de los beneficios sociales globales. El fomento a inversiones en I+D requiere otros incentivos además de los impuestos al carbono, como pueden ser en algunos casos los subsidios. A través de menores costos y mejoras tecnológicas, América Latina y el Caribe puede beneficiarse de las costosas inversiones en I+D que se han realizado en los países más desarrollados. A su vez, como se mencionó anteriormente, existe un problema no menor de economía política para la aplicación de políticas de precios al carbono, lo que explica en parte la gran discusión de instrumentos de política alternativos, que se mencionan en los próximos apartados. Finalmente, la fijación de un precio al carbono sugiere también la necesidad de valorar las externalidades ambientales, los servicios ecosistémicos (ver el capítulo 3) y un mercado de carbono (ver el capítulo 4).

Adaptación y mitigación en el sector agropecuario

Los esfuerzos de mitigación en el sector agropecuario se enfrentan a dos desafíos principales. El primero es la seguridad alimentaria, que impone al sector una necesidad de aumentar su producción, teniendo en cuenta que América Latina es un actor clave en el comercio de alimentos a nivel mundial y que para 2050 se debería aumentar la producción global de alimentos en un 50 % respecto a la producción de 2012 (FAO, 2017). El segundo desafío es la importancia económica que tiene la agricultura en la región, siendo un sector fundamental para la mayoría de los países y con una participación muy alta de la agricultura de subsistencia, principalmente en Centroamérica y el Caribe. Por tanto, los esfuerzos de mitigación deben tener en cuenta estas dos problemáticas y priorizar aquellos que conlleven mejoras

en la productividad, promuevan la aforestación y reforestación, y desincentiven la deforestación.

En este apartado se discuten las principales técnicas que permitirían reducir las emisiones del sector agropecuario y adaptarse a los impactos del cambio climático. A continuación, se analiza el caso de los biocombustibles y la bioenergía con captura y almacenamiento de carbono (BECCS, por sus siglas en inglés), temas transversales al sector agropecuario y energético. Finalmente, se mencionan algunas prácticas del lado de la demanda vinculadas al sector agropecuario. Las políticas referidas al sector de UTCUTS de reforestación o basadas en la conservación de los ecosistemas y la biodiversidad, aunque ofrecen el mayor potencial de mitigación (Nabuurs et al., 2022), son desarrolladas en el capítulo 3.

Técnicas agropecuarias vinculadas al cambio climático

En este subapartado se dividen las técnicas para la reducción de las emisiones de GEI entre aquellas que se aplican a la ganadería, las de la agricultura y, por último, se discutirán las soluciones basadas en la naturaleza.

Ganadería

Las dos principales técnicas del sector ganadero que permiten reducciones en las emisiones de GEI son la mejora en la alimentación y salud del ganado, principalmente mediante complementos alimenticios, y la cobertura y el manejo del estiércol. El Sexto Informe de Evaluación del IPCC (capítulo 7) reporta que el potencial de mitigación de las prácticas de manejo del estiércol y mejora en la alimentación tienen un potencial de mitigación superior al 10 %, siendo América Latina y el Caribe la segunda región con mayor potencial de mitigación en emisiones de metano y óxido nitroso (Nabuurs et al., 2022).

La calidad y composición de los alimentos, en particular aquellos que incrementan la utilización de energía en el metabolismo, tienen efectos significativos en las emisiones de metano. Suplementar la alimentación de los animales con lípidos, siendo en general las semillas de lino el complemento más eficiente, incrementa el contenido energético de la dieta y mejora su digestión, reduciendo las emisiones de ese gas. A su vez, el uso de complementos alimenticios reduce la necesidad de tierras para pastoreo, lo que disminuiría las emisiones por UTCUTS.

En cuanto al manejo del estiércol, reducir la temperatura y el tiempo de almacenamiento, guardándolo en espacios abiertos fríos, capturar y someter el metano a un proceso de combustión, y airear y usar el estiércol para compost son prácticas efectivas para reducir las emisiones de este gas. Además, se pueden agregar inhibidores de ureasa para reducir las emisiones de óxido nitroso. Las coberturas para el estiércol mitigan las emisiones de gases y de olores. Estas coberturas pueden ser naturales (por ejemplo, costras naturales de paja, entre otras) o artificiales (como polietileno, poliestireno o espuma) y protegen los desechos del viento.

Una técnica complementaria es la digestión anaeróbica, un proceso microbiológico donde la materia orgánica se descompone en ausencia de oxígeno y que puede ser utilizado para la producción de biocombustibles. El proceso genera residualmente "digestato", un material que se puede emplear como fertilizante. La digestión anaeróbica puede realizarse a partir de estiércol, pero también a partir de residuos de las cosechas y diversos residuos orgánicos. La utilización de estiércol es poco eficiente en la producción de biocombustibles, pero sí es eficiente en términos de reducción de las emisiones de metano.

Prácticas particulares a la agricultura

Se destacan dos técnicas específicas para la agricultura. La primera es la agricultura de precisión, un sistema de mantenimiento de cultivos que hace un uso intensivo de la información y tecnología para el análisis, medición, identificación y manejo de los cultivos, cuyo objetivo es la mejora en la productividad y sostenibilidad. Esta técnica incorpora herramientas de detección a distancia, tecnología de aplicación variable de insumos y sistemas de posicionamiento global (GPS), de información geográfica y de aprendizaje automático, entre otros. Además de reducir las emisiones de GEI a través de la disminución del uso de fertilizantes y combustibles y el mejor manejo del suelo, esta tecnología tiene como resultado principal un incremento en la productividad de los cultivos. La implementación de esta política requiere de capital humano formado e inversiones en algunas de las tecnologías mencionadas.

La segunda técnica es la siembra directa, es decir, el cultivo sin arado, que evita la remoción de suelo y utiliza una cobertura permanente de la tierra con residuos de la cosecha. La siembra directa aumenta el volumen y retención de materia orgánica y la conservación de nutrientes, mejora las propiedades de los suelos y aumenta la cantidad de agua que se infiltra en estos. Este proceso mejora la productividad de los cultivos y reduce las emisiones de CO₂, ya que no se remueve la tierra por el arado y se usan menos fertilizantes y combustibles para maquinaria²⁴.



Además de reducir las emisiones de GEI, la agricultura de precisión y la siembra directa mejoran la productividad de los cultivos

Soluciones basadas en la naturaleza

Las soluciones basadas en la naturaleza (SBN) son acciones de protección, gestión y restauración de los ecosistemas que tienen el objetivo de responder a desafíos sociales de forma eficaz y adaptativa, beneficiando simultáneamente a las personas y a la naturaleza (UICN, 2023). Las SBN se pueden utilizar para reducir los impactos del cambio climático e intentar mitigar emisiones del sector agropecuario, además de mejorar la productividad de los cultivos, por lo que figuran entre las técnicas con mayores sinergias y externalidades positivas. Las principales alternativas de estas prácticas son los cultivos de cobertura y, sobre todo, la agrosilvicultura.

Los cultivos de cobertura implican la siembra de ciertos cultivos en tierras que de otro modo quedarían en barbecho. El objetivo de los cultivos de cobertura es la protección y mejora de la fertilidad de los suelos. Mediante esta práctica se puede reducir la erosión del suelo y la necesidad de fertilizantes, al tiempo que aumentan los niveles de carbono del suelo y disminuye el impacto de las inundaciones y la sequía en los cultivos. A su vez, los cultivos de cobertura son útiles para el control de malezas y plagas.

La agrosilvicultura combina el uso de la silvicultura con la agricultura, de forma que las plantas y árboles se integren con los cultivos y el ganado. La agrosilvicultura incrementa la productividad y la salud de los cultivos, provee servicios ecosistémicos y ayuda a la restauración del suelo. Minnemeyer et al., (2011) estiman que existen aproximadamente 400 millones de ha en Sudamérica que pueden ser restauradas utilizando sistemas basados en la agrosilvicultura. Por este motivo, esta técnica es un claro ejemplo de

24 Con relación a las medidas de adaptación, en respuesta a las excesivas lluvias en Colombia durante el período 2010-2011, la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia (FNCGC), que representa a los caficultores, animó a los agricultores a protegerse contra futuras crisis condicionando los programas de crédito para la renovación de los cultivos de café al uso de variedades de semillas resistentes a las plagas. El impacto de dicha política se analiza en detalle en Helo Sarmiento et al. (2023).

una política de adaptación que presentaría múltiples dividendos: incrementaría la productividad del sector, combatiría algunos de los efectos esperados del cambio climático y, al estar generando biomasa y regenerando los suelos, ayudaría en la captura de carbono y la conservación de la biodiversidad.

La agrosilvicultura aumenta la biodiversidad proveyendo hábitats más complejos, con mayor presencia de árboles, lo que ayuda al desarrollo de organismos vivos. La convivencia de estos organismos favorece la sostenibilidad del ecosistema. Algunas de las consecuencias de esta práctica es la protección y recuperación de los suelos, dada la cobertura natural, y la mejora en la absorción de nutrientes en la tierra. Otras ventajas son la diversificación de los productos

agrícolas, la mayor estabilidad de los cultivos y fertilidad del suelo, lo que reduce la necesidad de agregar fertilizantes, el aumento en la polinización de las plantas, la menor necesidad de pesticidas sintéticos a partir del desarrollo de los naturales, el crecimiento de la fauna nativa, la disminución de la polución en el aire, la resiliencia a ráfagas de vientos fuertes y la cobertura al ganado para mejora de su bienestar²⁵.



La agrosilvicultura incrementa la productividad y la salud de los cultivos, provee servicios ecosistémicos, aumenta la biodiversidad y ayuda a la restauración del suelo

Políticas para la adaptación en el sector ASOUT

Si bien las técnicas agropecuarias mencionadas, y principalmente las SBN, son medidas de mitigación con potencial de adaptación a los impactos del cambio climático, la región requiere de medidas específicas de adaptación para un sector tan vulnerable como el de ASOUT. Estas medidas deberán ser apoyadas por los gobiernos nacionales, dado el rol que juega este sector no solo en las economías de la región, sino también en el abastecimiento de alimentos a nivel regional y global. Esto es de principal relevancia en América Central y el Caribe, una región donde la agricultura familiar representa una fracción elevada de la producción de alimentos y los retos a la producción agrícola amenazan su seguridad alimentaria.

En primer lugar, es fundamental fortalecer la resiliencia de los sistemas agropecuarios frente a los impactos del cambio climático. Esto implica promover prácticas agrícolas sostenibles que optimicen el uso de recursos, como el agua y el suelo, y sean más resistentes a eventos climáticos extremos, como las sequías e inundaciones.

En segundo lugar, los gobiernos deben fomentar y apoyar la inversión en infraestructuras e investigación, así como el desarrollo y aplicación de tecnologías adecuadas para la adaptación al cambio climático en el sector agropecuario. Estas incluyen la adopción de sistemas de riego eficientes, la mejora de la infraestructura de almacenamiento y distribución de alimentos, y la promoción de técnicas agrícolas innovadoras que aumenten la productividad y reduzcan la vulnerabilidad de los agricultores y ganaderos, como es el ejemplo de las semillas resistentes a impactos climáticos.

Finalmente, hay que desarrollar y fortalecer los mecanismos financieros, como los seguros agrícolas, el financiamiento a la producción y los mercados de futuros, lo que permitiría la reducción de la incertidumbre y los riesgos de inversión. Es clave que la región dedique esfuerzos para que pequeños establecimientos logren acceso a estos instrumentos, principalmente en regiones expuestas a eventos climáticos extremos, para los cuales existen capacidades limitadas de adaptación mediante prácticas agropecuarias.

25 La aplicación de las SBN no se limita al sector agropecuario. Algunos ejemplos particulares pueden ser el uso de cipreses en zonas de riesgo de incendios forestales, la cobertura de árboles urbanos para reducir la temperatura en las ciudades y la necesidad de uso de aires acondicionados, el plantado de árboles o arbustos para reducir los riesgos de derrumbes y deslizamientos en zonas montañosas o el riesgo de desertificación, y la conservación de los manglares y arrecifes de coral para reducir los riesgos de inundaciones (ver el capítulo 3).

Retos de implementación en el sector de ASOUT

Se ha demostrado que las acciones de mitigación y adaptación mencionadas anteriormente son costoefectivas, principalmente, la mejora en la alimentación del ganado (Marques et al., 2020, 2022) y las SBN (Reid et al., 2019; Vignola et al., 2019). Sin embargo, no han sido adoptadas universalmente, lo cual sugiere que existen motivos que las limitan.

Todas estas prácticas de mitigación y adaptación tienen costos de implementación. En el caso de las SBN, los costos pueden ser muy variados y no solo por inversión en infraestructura, sino también porque requieren disponibilidad de mano de obra e inversiones en capital humano. Un ejemplo de esto es la agrosilvicultura, donde el gran desafío es que los costos que conlleva son de corto plazo, mientras que los beneficios esperados son de largo plazo, por lo que no se verían resultados económicos significativos al menos en los primeros 3 a 8 años (Do et al., 2020). Incluso estas mediciones no son muy precisas debido a la escasez de datos sobre los casos implementados. Fomentar su adopción entre los productores, principalmente los más pequeños, orientados al autoconsumo, puede ser difícil dado que, en el corto plazo, el costo de la política supera los beneficios.



Existen técnicas agropecuarias que permitirían reducir las emisiones de GEI y mejorar la productividad y las condiciones del suelo. Para su adopción, se precisan mejoras en el acceso al financiamiento y educación sobre su existencia y beneficios

En ese sentido, una de las causas por las que no se utilizan estas prácticas de forma universal es la falta de financiamiento. Esto puede deberse a la carencia de mercados desarrollados, a limitaciones de acceso al crédito de establecimientos pequeños o a la reticencia de los productores a endeudarse para adoptar tecnologías que no consideran que garanticen mejoras en su producción en el corto plazo.

Este último punto está relacionado con otra de las principales causas: la falta de información sobre la rentabilidad de estas iniciativas y el plazo en el cual se recuperaría la inversión, la falta de formación o el desconocimiento total de las alternativas mencionadas previamente, además de la tradición, que puede hacer a los agricultores más reticentes al cambio. Todo esto sumado al riesgo intrínseco de la actividad agropecuaria, donde choques climáticos externos pueden tener impactos enormes en su rentabilidad, genera resistencia a la adopción de nuevas prácticas.

Una característica muy importante en estas limitaciones es que todas ellas están correlacionadas con el tamaño del productor. Explotaciones de pequeño tamaño tienen más dificultades para acceder al financiamiento, menos capital, liquidez y capital humano, más necesidad de retornos en el corto plazo y apego a las tradiciones. Es quizás por esto que, si gobiernos u organismos multilaterales buscaran apoyar estas iniciativas, debería haber un esfuerzo adicional para llegar a los pequeños productores, dada la importancia que tiene la agricultura familiar en la región y en los objetivos de hambre cero.

La importancia del alineamiento de las políticas gubernamentales es un problema actual. Según un reporte de agencias de las Naciones Unidas (FAO et al., 2021), el apoyo a los productores en todo el mundo se eleva a USD 540.000 millones anuales, que mayoritariamente se distribuyen en políticas distorsivas que reducen la eficiencia del sector, con poco apoyo a productores pequeños, y políticas dañinas tanto para el medioambiente como para la salud humana. Lowder et al. (2021) estiman que, si bien los pequeños establecimientos menores que 2 ha producen aproximadamente el 35 % de los alimentos a nivel global, estas explotaciones reciben menos del 2 % de los flujos de fondos financieros para adaptación y mitigación del cambio climático.

En resumen, existen técnicas agropecuarias que permitirían reducir las emisiones de GEI, con un potencial de mitigación en metano y, en general, externalidades positivas tanto en productividad como en ambiente. A pesar de su rentabilidad, la adopción de estas técnicas se ha visto limitada por problemas de acceso al crédito, incertidumbre y falta de información. Por lo

tanto, las políticas que podrían implementarse para impulsar estas acciones son principalmente de financiamiento y educación. En cuanto a financiamiento, se destacan tanto la facilitación en el acceso al crédito o líneas de crédito específicas para la mitigación en el sector, como el subsidio a prácticas sustentables con foco en los pequeños productores. En cuanto a

educación, no solo es necesario que los productores estén al tanto de la existencia de estas técnicas, sino que se sugiere el apoyo técnico y legal, nuevamente con foco en los pequeños productores, que son quienes invierten menores recursos en este aspecto. El recuadro 2.3 presenta el caso de una política implementada en Colombia con estas características.

Recuadro 2.3

Iniciativas climáticamente inteligentes para el sector agropecuario: un caso de estudio en Colombia

En Colombia, se ha aprobado y está listo para su implementación el proyecto “Iniciativas climáticamente inteligentes para la adaptación al cambio climático y la sostenibilidad en sistemas productivos agropecuarios priorizados” (CSICAP, por sus siglas en inglés), que recibe apoyo financiero de CAF —banco de desarrollo para América Latina— y del Fondo Verde para el Clima (FVC).

El proyecto busca reducir la vulnerabilidad de la producción agropecuaria ante las amenazas climáticas y disminuir las emisiones de GEI en la producción del sector mediante el uso de la agricultura de precisión. Esta incluye mejoras en los servicios climáticos y la utilización y desarrollo de nuevas tecnologías de bajas emisiones y alta resiliencia climática, como, por ejemplo, mejoras genéticas.

El desarrollo de esta iniciativa apunta a dos de las principales limitaciones a la implementación de las políticas de adaptación y mitigación en el sector agropecuario: i) el financiamiento, y ii) el desarrollo, distribución y acceso a la información. A su vez, el proyecto está focalizado en las poblaciones más vulnerables del sector rural, especialmente las mujeres, y destaca por las ganancias en eficiencia gracias a la aplicación de la agricultura de precisión, junto con los beneficios de adaptación y mitigación. Se considera, por ejemplo, que los gremios^a en Colombia no tienen capacidad para desarrollar las herramientas e instrumentos que se elaborarán con el proyecto, pero sí para aplicarlos y continuar con el trabajo tras su desarrollo, acelerando las ganancias de eficiencia y la realización de los beneficios económicos que conlleva. En el caso de los gremios más fuertes, como los del café, la banana y el arroz, se estima que tardarían 20 años en alcanzar los resultados que se prevén con CSICAP en 5 años.

Se espera que el proyecto beneficie a más de 600.000 personas, incremente la resiliencia climática de alrededor de 1 millón de ha y reduzca las emisiones de GEI en más de 9 millones de tCO₂eq. Si bien el foco principal es la adaptación climática, se espera obtener cobeneficios económicos, como mejoras en productividad y reducción de la pobreza rural; cobeneficios sociales, como la mejora en la calidad y el acceso a los alimentos y la disminución en la brecha de ingresos por género en el sector rural; y finalmente cobeneficios ambientales, por las reducciones en emisiones de GEI.

a. Organizaciones del sector privado dedicadas a cultivos específicos que reúnen a pequeños, medianos y grandes agricultores.



Biocombustibles

El desarrollo de biocombustibles es una política transversal al sector energético y agropecuario. Mientras que la mitigación se realiza en el sector energético, por la utilización de combustibles que emiten menos GEI que los productos de origen fósil, la producción de los biocombustibles se realiza en el sector agropecuario a partir de la transformación de biomasa.

Uno de los problemas que presentan los biocombustibles es la necesidad de tierras para su producción. En general, el desarrollo de biocombustibles está asociado con aumentos en el uso de la tierra, produciendo más emisiones por UTCUTS, dato que, en algunos casos, no se utiliza en los cálculos sobre los impactos de la mitigación de los biocombustibles. La Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE, 2019), en una revisión de la literatura sobre el tema, analiza la huella de carbono de distintas categorías de biocombustibles, mostrando que, dependiendo del insumo utilizado, las emisiones totales podrían llegar a ser incluso mayores que las de la gasolina. En ese sentido, biocombustibles producidos con desechos y residuos, caña de azúcar y algunos cultivos energéticos resultan los más eficientes en términos de mitigación, mientras que el aceite de palma genera altísimas emisiones por UTCUTS, seguido por el aceite de soja, siendo estos últimos los insumos más utilizados para la producción de biocombustibles. Para que los biocombustibles sean una solución de mitigación deseable, se debe incorporar el análisis de emisiones por UTCUTS a la hora de evaluar el proyecto.

Una tecnología que destaca el IPCC como principal para alcanzar las metas de 1,5-2 °C, que aún se encuentra en etapa de desarrollo y primeros proyectos en funcionamiento, es la de bioenergía con captura y almacenamiento de carbono. Este proceso consiste en extraer bioenergía de la biomasa, capturando el carbono emitido por este proceso y almacenándolo en reservorios naturales, como los yacimientos de petróleo agotados, los acuíferos salinos u otras formaciones geológicas. Esta tecnología puede ser utilizada en la producción de etanol y biogás, celulosa y papel e incluso para calefacción o generación de energía mediante el uso de biomasa.



La bioenergía con captura y almacenamiento de carbono tiene la particularidad de que el neto de emisiones puede ser negativo por la captura de gases que realiza

La BECCS tiene la particularidad de que el neto de emisiones puede ser negativo por la captura de gases que realiza. Esto se explica porque el CO₂ absorbido por los árboles que se utilizan en el proceso es capturado durante la combustión, en vez de ser liberado a la atmósfera, como ocurre en el proceso de generación eléctrica tradicional mediante el uso de biomasa. Este CO₂ capturado es luego almacenado en los reservorios, por lo que el proceso, desde el plantado de los árboles hasta la generación de la energía, logra una captura de CO₂ de la atmósfera, mientras que únicamente libera una fracción menor de este CO₂ capturado. Sin embargo, aún no se ha documentado de forma rigurosa este potencial de emisiones negativas.

Una de las limitaciones de esta tecnología son los grandes requerimientos de tierra y agua, lo que podría aumentar las emisiones por UTCUTS, reducir la biodiversidad y ocupar tierras productivas para la agricultura. Además, no es claro a priori el saldo neto de emisiones o el neto del costo-beneficio de esta política.

Otra posibilidad para el uso de esta tecnología que requiere menos consumo de agua y tierras es la utilización de desechos como insumo. Estos desechos pueden ser tanto de la agricultura, de la silvicultura o incluso desechos urbanos.

Cambios del lado de la demanda

Un grupo de políticas que no corresponde al sector agropecuario, pero sí le impactaría, principalmente en la producción de alimentos, es el que contempla acciones del lado de la demanda. Las prácticas de consumo responsable y la reducción de desechos alimentarios tienen un potencial de disminuir entre el 8 % y el 10 % de las emisiones antropogénicas totales (Mbow et al., 2019), contribuyendo, a su vez, con los objetivos de seguridad alimentaria. La sustitución en el consumo de carnes por vegetales aliviaría la expansión de la tierra utilizada para ganado, reduciendo también las emisiones provenientes del cambio del uso de la tierra para esa actividad, que representan entre un 5 % y un 14 % de las emisiones de GEI.

Si bien serán necesarias campañas de educación y concientización para lograr estas reducciones por modificaciones de conducta, ya se están observando cambios en la dirección deseada. Criscuolo y Cuomo

(2018) documentan que existe una demanda creciente de “carne sustentable”, soja sin modificaciones genéticas y productos lácteos orgánicos. Este incremento de la demanda genera mercados de certificación y ofrece incentivos a los productores para adoptar medidas sustentables, las cuales, en algunos casos, son más eficientes, favorecen mejoras en la calidad de los productos e implican reducciones de emisiones y de contaminación ambiental. El capítulo 3 aborda con más detalle estas certificaciones ambientales.



Las prácticas de consumo responsable y la reducción de desechos alimentarios tienen el potencial de disminuir entre el 8 % y el 10 % las emisiones antropogénicas totales

Transición energética y mitigación en el sector energético

La transición energética es el cambio hacia fuentes de energía renovable y sostenible desde los combustibles fósiles. Además de cambios en la producción y el transporte de energía, la transición energética incluye cambios en el consumo de energía, entre ellos, mejoras en la eficiencia energética y la electrificación de la economía, por ejemplo, la electrificación del

transporte. En este apartado se discute la transición energética en América Latina y el Caribe, primero desde el punto de vista de la oferta, comenzando por el sector de generación eléctrica y luego por el transporte. A continuación, se desarrollan las acciones del lado de la demanda, para finalmente, analizar las acciones de adaptación para el sector energético.

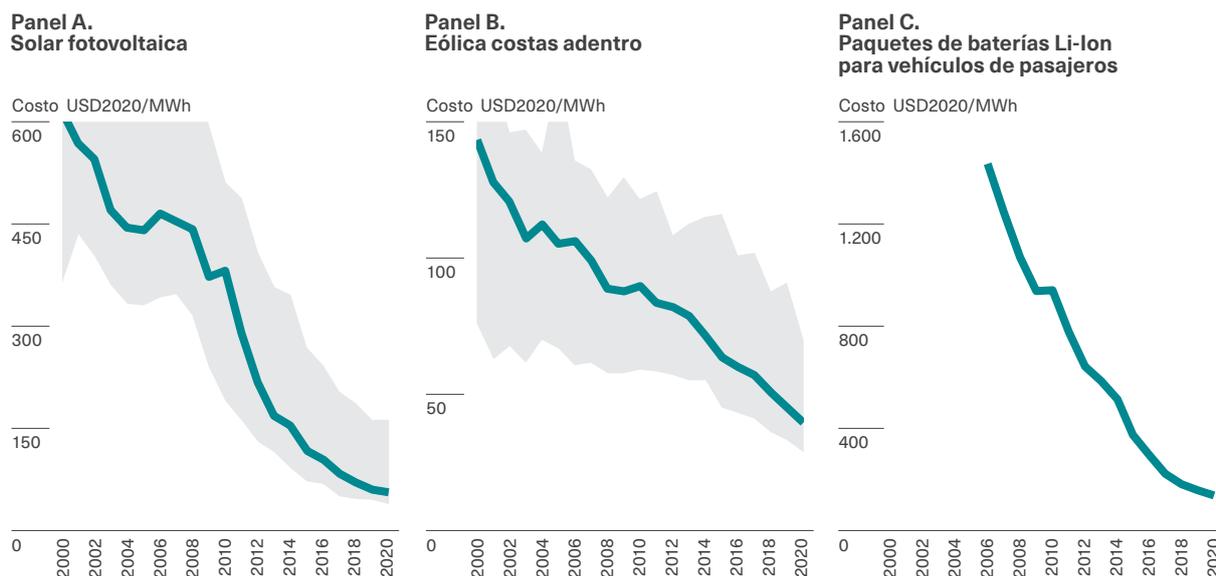
Generación eléctrica, fuentes renovables de energía y el rol del gas natural

Del total de emisiones mundiales de GEI, cerca del 25 % son causadas por la generación eléctrica, siendo este el principal emisor por sectores. Como resultado del proceso de transición energética iniciado, sobre todo, en los países desarrollados (ver el capítulo 5), se han logrado mejoras en la eficiencia y reducción de los costos de generación eléctrica a partir de fuentes renovables, principalmente en energía solar y eólica. El gráfico 2.16 muestra la evolución del costo unitario de energías renovables y del precio de

las baterías de litio para vehículos eléctricos desde 2000 a 2020. Se puede observar que, en 20 años, el costo de la energía solar se ha reducido drásticamente, con avances también en la energía eólica terrestre, mientras que el costo de las baterías recargables de litio (Li-ion), utilizadas para el almacenamiento de la energía eléctrica, se ha reducido más de 10 veces. Estas rápidas mejoras están haciendo más accesible la instalación y almacenamiento de la electricidad, facilitando el acceso a esta tecnología.

Gráfico 2.16

Costo unitario de energías renovables y baterías en el período 2000-2020



Nota: El gráfico presenta la evolución de los costos unitarios en USD a valor del 2020 por megavatio-hora (USD/MWh), para las energías solar (panel A) y eólica (panel B), así como para las baterías de litio (panel C) en el período indicado. Las áreas grises representan el rango entre el percentil 5 y 95 para cada año. Para más información metodológica, puede consultarse IPCC (2022b).

Fuente: Elaboración propia con base en IPCC (2022b).

● ●

La energía solar y la eólica presentan una gran oportunidad para la región. No sólo por la reducción en emisiones, sino por su costo marginal casi nulo y su externalidad positiva en la calidad del aire

La energía solar y la eólica se presentan como una gran oportunidad para la región por diversas razones, además de las reducciones en las emisiones. La primera ventaja de estas tecnologías es la eficiencia en la generación de electricidad. El costo marginal de producción de electricidad solar y eólica es cercano a cero, debido a que no utilizan combustibles como insumo y requieren poco mantenimiento (Craig y Brancucci, 2021). Una segunda ventaja es el hecho de que estas tecnologías verdes, además de no emitir gases de efecto

invernadero, tampoco crean polución en el aire, por lo que su instalación tiene una externalidad positiva en la calidad del aire.

Existen dos alternativas para la generación eléctrica con energía solar. La primera es la generación distribuida mediante la instalación de paneles solares y generadores en casas, edificios, estacionamientos, granjas de pequeñas extensiones, etc. La segunda alternativa son los parques solares, los cuales requieren mayores extensiones de tierra, pero abastecen a un número mayor de usuarios. En América Latina y el Caribe, existen carencias en el acceso a la energía y la estabilidad del suministro eléctrico en zonas rurales, así como en infraestructura de distribución y transmisión eléctrica. Una de las ventajas de la generación distribuida es que permite que parte de la transición a energías limpias no requiera de grandes inversiones en parques solares y eólicos de gran escala ni en grandes sistemas de transmisión, evitando la

utilización de amplias parcelas de tierras productivas y permitiendo el acceso a la electricidad en zonas rurales. Por su parte, los parques solares y las granjas eólicas tienen, en algunos casos, problemas de regulaciones exigentes y litigaciones emprendidas por grupos ambientalistas debido a los daños locales a la fauna. Los sistemas solares distribuidos son más eficientes en términos de pérdidas de energía en la generación, transmisión y distribución, permiten autonomía a los usuarios y su instalación es rápida. Otra de las características de la generación distribuida es que aumenta el valor de la propiedad (Adomatis et al., 2015; Adomatis y Hoen, 2015), por lo que parte del costo de instalación se traslada parcialmente al valor del inmueble. Lo contrario ocurre con las granjas de paneles solares, que, como muestran algunos estudios, devalúan el precio de las propiedades cercanas (Dröes y Koster, 2021; Gaur y Lang, 2020).

La transición a energías renovables permitiría a los países importadores netos de hidrocarburos reducir su dependencia de los combustibles fósiles. La cooperación regional y la inversión en tecnologías que minimicen esa dependencia ayudaría a la región a escudarse de la variabilidad de los mercados de combustibles fósiles, asegurando el abastecimiento interno. La transición energética, además, mejoraría la resiliencia y suficiencia energética de los países, reduciendo la dependencia de las importaciones y protegiendo a sus economías de la volatilidad de los precios de la energía. El efecto que la guerra Rusia-Ucrania tuvo en el precio de los combustibles fósiles y, consecuentemente, en los niveles generales de precios a nivel mundial es un ejemplo de la ventaja con la que contaría la región en caso de disponer de una matriz energética renovable. El recuadro 2.4 discute el potencial de generación de las energías renovables y los desafíos que enfrenta.

Si bien estas tecnologías renovables resultan más accesibles e incluso más eficientes que los combustibles fósiles, una transición energética completa en el sector eléctrico de América Latina y el Caribe en el corto plazo implicaría un gran esfuerzo de inversión en infraestructura e incluso de cooperación regional para el comercio de energía eléctrica²⁶. Moksnes et al. (2019) exploran 324 proyectos de inversión en infraestructura eléctrica para Sudamérica y muestran

que el costo total descontado ronda entre el 0,9 % y el 1,9 % del PIB de la región y que los escenarios con mayor frecuencia se encuentran en el margen inferior de este rango. Cabe destacar que estimaciones de Rozenberg y Fay (2019) indican que, a nivel global, los costos de inversión en infraestructura en el sector de generación eléctrica en un escenario de bajas emisiones (1 %-3 % del PIB) comparadas con un escenario manteniendo el *status quo* (0,9 %-2,4 % del PIB) son similares.



La transición a energías renovables permitiría a los países importadores netos de combustibles fósiles reducir la dependencia que tienen de estos productos

Otra consecuencia de la migración a una matriz eléctrica verde son los activos varados, como los yacimientos de gas y petróleo, así como la infraestructura instalada para su extracción. Los cuadros 2.2 y 2.3 muestran las reservas de hidrocarburos probadas y los recursos técnicamente recuperables. De estas, las reservas de gas son las que se espera que sean explotadas durante más tiempo, mientras que las de carbón serían las primeras en las que cesaría la actividad. Si bien algunas estimaciones preliminares indican que la transición energética podría generar empleos netos (CEPAL et al., 2023; Saget et al., 2020), en el corto plazo, la relocalización de los trabajadores de la industria de combustibles fósiles será costosa y requerirá del apoyo de políticas de reentrenamiento laboral y protección social. Finalmente, los países productores de hidrocarburos sufrirían un gran costo fiscal de la adopción de tecnologías limpias. Esto refuerza la necesidad de que la transición sea progresiva en el tiempo y que los países productores de hidrocarburos migren primero hacia una matriz energética basada en el gas natural y las fuentes renovables, utilizando la infraestructura que ya poseen para la extracción y comercialización de gas natural.

26 El trabajo de Airaud et al. (2022) propone un modelo para investigar la dinámica inflacionaria que podría generarse durante la transición verde.

Recuadro 2.4

Generación de energía verde

El Sexto Informe de Evaluación del IPCC remarcó la viabilidad técnica de la transición energética a una matriz con emisiones netas cero, incluso si no están disponibles ciertas tecnologías, como la nuclear o la de captura de carbono. Estas estimaciones se basan en modelos de evaluación integrada (MEI). En el mismo sentido, existe literatura especializada en la capacidad y potencial de generación eléctrica mediante energías renovables que destacan también la posibilidad de afrontar toda la demanda actual e incluso la proyectada utilizando únicamente energías renovables.

Edenhofer et al. (2011), en un informe para el IPCC, reportan el potencial técnico en un metaanálisis para energías renovables en el que muestran que ese potencial excede la demanda actual. Deng et al. (2015) estiman el potencial de generación energética por generación solar y eólica a nivel mundial y concluyen que, incluso en sus escenarios de menor generación, sería superior a la demanda proyectada para 2070. Los cálculos de Molnár et al. (2022) sobre el potencial de generación eléctrica por instalación de paneles solares en azoteas de edificios residenciales indican que dicho potencial es enorme y satisfaría la mayor parte de la demanda local de electricidad y que esta capacidad podría incluso duplicarse para 2060. Los autores destacan que, en América Latina, la construcción de nuevos edificios con diseños que consideran la instalación de paneles es una de las principales posibilidades para las próximas décadas. Sin embargo, todos estos documentos enfatizan la importancia de la inversión en infraestructura de distribución, transmisión y almacenamiento para alcanzar este potencial, dado que la actual infraestructura no es suficiente, especialmente en los escenarios con mayor coordinación regional.

Una matriz eléctrica limpia enfrenta el desafío de la posible intermitencia en la generación, principalmente por la actual falta de almacenamiento a gran escala y a costos competitivos y la escasa inversión en transmisión, no solo a nivel país, sino también a nivel regional. Otro desafío es la insuficiente infraestructura para conectar las fuentes renovables con zonas de consumo lejanas y para una interconexión regional. Mientras se desarrollan sistemas de almacenamiento más eficientes, es necesario que los sistemas energéticos sean flexibles, de manera que permitan satisfacer la demanda con múltiples fuentes y hacer frente a la posible carencia de generación en alguna de ellas en momentos específicos. Un buen balance entre fuentes renovables y gas natural, unido a una coordinación regional, que requeriría una gran inversión en líneas de transmisión entre los países, ofrecerían una matriz regional limpia y un correcto abastecimiento.

Hay dos desafíos importantes que no son considerados en estos estudios. El primero tiene que ver con el manejo de los desechos generados por el reemplazo de los paneles solares, las turbinas eólicas y las baterías. En el caso de las turbinas, la mayor parte de sus componentes pueden ser reciclados, mientras que en el caso de las baterías existen ciertas iniciativas de reciclaje. Sin embargo, aún no hay soluciones integrales para el reciclaje de todos esos desechos, siendo los residuos por los paneles solares los que presentan un mayor desafío en la actualidad. El segundo desafío está relacionado con los minerales necesarios para la transición a una matriz eléctrica limpia. La gran demanda mundial de estos metales, tanto para baterías como para vehículos eléctricos y para la transmisión de energía eléctrica, puede provocar una escasez de oferta y un consecuente aumento en el precio de estos componentes vitales para la transición energética.

Cuadro 2.2

Reservas de hidrocarburos probadas

País	Petróleo (millones de barriles) Año 2021	Carbón (millones de m ³) Año 2019	Gas natural (millones de m ³) Año 2021
Argentina	2.482	500	396.464
Barbados	2	0	113
Bolivia	240	1	30.299
Brasil	12.714	7	363.984
Chile	150	1	97.976
Colombia	2.036	5	87.782
Ecuador	8.273	24	10.902
México	5.786	1	180.321
Perú	858	102	300.158
Trinidad y Tobago	243	0	298.063
Venezuela	303.806	731	5.673.894
Total	336.590	15	7.712.647

Nota: El cuadro muestra las reservas para los países con información disponible.

Fuente: Hancevic et al. (2023).

Cuadro 2.3

Recursos técnicamente recuperables de gas de esquisto y petróleo de baja permeabilidad en 2015

País	Gas (billones de pies cúbicos)	Petróleo (miles de millones de barriles)
Argentina	801,5	27
Bolivia	36,4	0,6
Brasil	244,9	5,3
Chile	48,5	2,3
Colombia	54,7	6,8
México	545,2	131
Paraguay	75,3	3,7
Uruguay	4,6	0,6
Venezuela	167,3	13,4

Nota: Tres países de ALC se ubican entre los diez primeros a nivel mundial por sus reservas de gas de esquisto: Argentina (4), Venezuela (7) y México (8). En cuanto a las reservas de petróleo de baja permeabilidad, tres países se ubican también entre los diez primeros: Argentina (2), México (6) y Brasil (10).

Fuente: Hancevic et al. (2023).

América Latina y el Caribe cuenta con grandes reservas de gas natural, cercanas al 4 % de las reservas mundiales, con una gran concentración en Venezuela, donde se encuentra el 75 % de las existentes en la región (Di Sbroiavacca et al., 2019). El gas natural es el combustible fósil cuya quema produce menos CO₂, siendo el factor de emisión de toneladas de CO₂ por MWh cercano a la mitad de las emisiones del carbón. Además, es una fuente de energía flexible y versátil, que puede utilizarse en diferentes sectores, como la generación eléctrica, la industria, el transporte y la calefacción. Su bajo costo y amplia disponibilidad en la región lo hacen especialmente adecuado durante la transición energética para países con altos niveles de demanda energética y limitados recursos financieros para invertir en energías renovables.

Por otra parte, el gas natural también puede actuar como una fuente complementaria a las energías renovables intermitentes, como la solar o la eólica, ya que puede utilizarse para generar energía cuando estas fuentes no están disponibles o son insuficientes para cubrir la demanda. Esto permite una mayor integración de las energías renovables en la matriz energética, reduciendo así la dependencia de los combustibles fósiles más contaminantes. En este sentido, algunos países de la región han comenzado a implementar políticas y programas para fomentar el uso del gas natural en la transición energética. Por ejemplo, Argentina ha lanzado un plan para desarrollar la infraestructura de gas natural y aumentar su participación en la matriz energética, mientras que

Colombia ha establecido incentivos para la conversión de vehículos a gas natural y la utilización de gas en la generación de energía.



El gas natural puede actuar como una fuente complementaria a las energías renovables, utilizándose para generar energía cuando estas fuentes no están disponibles o son insuficientes

Es importante que la inversión en gas natural no quite recursos de inversión en tecnologías no contaminantes. Primero, porque la generación eléctrica con tecnologías limpias es actualmente más eficiente que el gas natural, además de menos contaminante; y segundo, porque cualquier inversión en infraestructura no se amortizaría en el corto plazo, por lo que se correría el riesgo de pasar a ser un gran activo varado en el mediano plazo o generaría un compromiso de utilización de esa infraestructura en el mediano plazo, originando indirectamente un compromiso de emisiones por generación eléctrica basada en gas natural. En ese mismo sentido, nuevos contratos de explotación con derechos de largo plazo provocarían la misma amenaza. Finalmente, la transición hacia una matriz basada en energías renovables y gas natural ofrecería incluso una oportunidad para comerciar este combustible con otras regiones, como, por ejemplo, Europa.

Transporte: electrificación y movilidad sustentable

Hay tres canales para reducir las emisiones del sector: mejoras técnicas en los motores de combustión interna, la electrificación de la flota vehicular y la promoción del transporte público y de formas de movilidad no contaminantes. McKinsey & Company (2013) estiman que mejoras técnicas ya disponibles para motores de combustión interna son superiores en términos de costo-efectividad con respecto a los vehículos eléctricos e híbridos. Si bien esta alternativa no permitiría la descarbonización del sector del transporte, en el corto plazo resulta una alternativa más eficiente que la migración a una flota de transporte totalmente eléctrica.

La transición hacia una flota vehicular eléctrica implica una costosa inversión en infraestructura. Aún no hay en funcionamiento terminales de carga rápida que sustituyan las actuales estaciones de servicio y carga de combustible y, en general, esto impide que los vehículos eléctricos viajen largas distancias en América Latina y el Caribe. Sin embargo, se debe destacar que el sector se encuentra en plena evolución, por lo que, en el corto o mediano plazo, tanto las diferencias tecnológicas como de costos podrían no ser una limitación. Un ejemplo de avance del lado económico es la disminución del 85 % en el costo de las baterías de litio entre 2000 y 2019 (IPCC, 2022a).

Respecto a la tecnología, información de la Agencia de Protección del Medioambiente de Estados Unidos, con cifras actualizadas al 15 de noviembre de 2022, indica que los vehículos eléctricos que se comercializan en ese país viajan en promedio hasta 160 km con una carga completa y requieren 8 horas para recargar completamente el vehículo (EPA, 2023). Cuando se mira únicamente a los modelos más recientes, como los de autos eléctricos de 2021, el rango medio de autonomía es bastante mayor, próximo a los 400 km. Sin embargo, el rango medio de autonomía de los vehículos a gasolina es cercano a los 650 km (U.S. Department of Energy, 2023).

A todo ello se adicionan los problemas de costos para los usuarios. Si bien estos han disminuido drásticamente en los últimos años y han surgido nuevos modelos más económicos, en promedio los vehículos eléctricos de mayor demanda, tanto de carga como comerciales, son comparativamente más caros que los de combustión de características similares y la oferta existente de los primeros es mucho menor. A su vez, la autonomía y velocidad promedio de los vehículos eléctricos aún distan de las que alcanzan los vehículos de combustión interna, lo que resulta en una limitada oferta de vehículos que satisfaga las necesidades de los consumidores. Otra diferencia de los vehículos eléctricos respecto a los de combustión interna es su mayor peso, explicado principalmente por las baterías.

Finalmente, la demanda de metales como el litio, el níquel y el cobalto, que son clave para la producción de baterías, puede no ser satisfecha (Bloomberg-NEF, 2022), lo que impediría la rápida adopción de vehículos eléctricos proyectada. Este obstáculo podría tener efectos en los precios, demorando aún más la adopción en América Latina y el Caribe. Los vehículos pesados o de carga a gas natural pueden ser una alternativa que permitiría la explotación de este recurso y la adopción de una tecnología con menores emisiones en un sector de altas emisiones. Otra alternativa para la sustitución del transporte de carga con vehículos a combustibles fósiles, es la utilización de trenes de carga. Sin embargo, su electrificación requiere de una mayor inversión en infraestructura, una alta densidad de tráfico para ser viables comercialmente y una provisión constante y

segura de energía eléctrica proveniente de fuentes renovables para garantizar su operación continua (Lawrence y Bullock, 2022).

La migración a una flota vehicular totalmente eléctrica debería ser un objetivo de mediano-largo plazo de la región, dado el alto costo que implicaría en el corto plazo. En lo inmediato, existen tres políticas que reducirían el uso de combustibles fósiles en el transporte y tendrían importantes externalidades positivas, principalmente en ciudades con altas densidades de población: la primera, es la inversión en un transporte público eficiente, accesible e idealmente eléctrico²⁷; segundo, el incentivo al uso de medios de transporte no contaminante, como las bicicletas, mediante la construcción de ciclovías y la oferta de bicicletas públicas, o la construcción de vías peatonales para que la población pueda caminar libre de tránsito; y, finalmente, la implementación de zonas de baja emisión, que limitan el tránsito en determinadas áreas y horarios (Barahona et al., 2020; Galdón-Sánchez et al., 2022). Si bien las reducciones en emisiones serían significativamente menores que las que supondría una reducción de emisiones en carreteras, estas son un ejemplo de políticas no solo con externalidades positivas, sino también con costos significativamente menores. En cuanto a las principales externalidades positivas que se derivarían de estas políticas, se destacan, primero, la reducción en el tránsito en la ciudad, lo que disminuiría la duración de los viajes intraurbanos, uno de los temas más discutidos en áreas con altas densidades poblacionales, como son las principales ciudades de América Latina y el Caribe; y segundo, la reducción en emisiones de partículas contaminantes que emiten los vehículos al quemar combustible. Estas partículas tienen documentados efectos en la salud (Bishop et al., 2018; Di et al., 2017; Krewski et al., 2009; Lepeule et al., 2012; Wu et al., 2020), tanto en el desarrollo o agudizamiento de condiciones respiratorias (p. ej., asma o la enfermedad pulmonar obstructiva crónica) como el desarrollo del síndrome de demencia, y con un aumento de la mortalidad.

27 Ver el recuadro 2.5 que describe una iniciativa de electrificación del transporte público en la región.



La migración a una flota vehicular totalmente eléctrica debería ser un objetivo de mediano-largo plazo de la región, dado el alto costo que implicaría en el corto plazo

Aunque estas políticas implicarían inversiones menores que la instalación de parques de carga para vehículos eléctricos a nivel nacional, la región presenta problemáticas en cuanto al transporte público y los medios de transporte no contaminante que debería abordar. Con respecto al transporte público, la mala conectividad, la baja frecuencia, el alto costo, la calidad de los vehículos y el amontonamiento

de pasajeros en horas pico desincentivan su uso y desplazan a los usuarios hacia los vehículos particulares, generando mayores emisiones, más tráfico y tiempos más largos para recorrer las mismas distancias (Daude et al., 2017; Rivas et al., 2019). En cuanto a los medios de transporte no contaminantes, como las ciclovías y las vías peatonales, uno de los factores que desincentiva su uso en la región es la inseguridad. Por ello, la inversión necesaria va más allá del gasto en la construcción de vías peatonales o para bicicletas; también es preciso la inversión en iluminación para las calles, señalizaciones y la instalación de cámaras de seguridad (Alcántara de Vasconcellos, 2019). A su vez, se requieren espacios de estacionamiento de bicicletas que sean seguros dada la facilidad del hurto de las partes.

Recuadro 2.5

Electrificación del transporte público en América Latina

En octubre de 2022, CAF aprobó el programa “E-Motion”, con financiamiento del Fondo Verde para el Clima (FVC), para promover el transporte de bajas emisiones en Panamá, Paraguay y Uruguay. El programa financiará la adopción de autobuses eléctricos a gran escala, el desarrollo de infraestructura de carga rápida y la implementación de vehículos comerciales eléctricos ligeros.

Los países del programa han incluido dentro de sus CDN metas específicas para reducir las emisiones del sector del transporte. Por ejemplo, Paraguay se propuso reducir el 20 % del consumo de combustibles fósiles para 2030. Panamá estableció en 2019 una Estrategia Nacional de Movilidad Eléctrica, con el objetivo de electrificar entre el 25 % y el 50 % de la flota de transporte público para 2030. En la misma línea, la primera CDN de Uruguay estableció metas cuantitativas para impulsar la electromovilidad para 2025, las cuales buscan la adopción de autobuses eléctricos y el establecimiento de estaciones de carga eléctricas a lo largo de sus rutas principales. Estos países también cuentan con una amplia capacidad de generación eléctrica proveniente de energías limpias, por lo que la promoción de la electrificación del transporte podría mitigar las emisiones de GEI a un ritmo más alto que en otros contextos.

Las evaluaciones de diagnóstico del programa han identificado que el transporte en los países atendidos se encuentra atomizado y presenta problemas en la calidad y seguridad de los servicios. En consecuencia, la iniciativa busca acelerar la reconversión del sector, ofreciendo préstamos concesionales para la renovación de la flota pública de autobuses y brindando asistencia técnica a los actores clave del sector a fin de promover un nuevo modelo de negocios que separe la propiedad de los activos, las instituciones concesionarias que proveen el servicio y las entidades de gestión y administración. El impacto esperado del proyecto es una reducción total de las emisiones de GEI de 3,3 MtCO₂eq durante su vida útil de 25 años. Además, se espera que se ahorren costos relacionados con el consumo de energía, la contaminación y los efectos externos del calentamiento global por un monto de USD 40 millones.

Soluciones del lado de la demanda

Al comienzo de este apartado se señala que una de las principales acciones que los hogares o empresas pueden adoptar es la generación distribuida o la instalación de paneles solares en hogares y edificios. Sin embargo, esta no es la única medida que podría lograr reducciones significativas de las emisiones. Dos de las acciones con mayor potencial están vinculadas a la eficiencia energética, como lo es el consumo responsable de energía y la utilización de electrodomésticos de bajo consumo energético, incluidos los aparatos para calefacción. La AIE estima que, entre 2000 y 2017, las acciones vinculadas a la eficiencia energética posibilitaron que el consumo energético global fuera un 12 % menor al estimado para ese período (AIE, 2022a). Zehner (2012) muestra que el estado de California (Estados Unidos) comenzó a implementar medidas para promover la eficiencia energética desde mediados de 1975, logrando que el consumo energético per cápita a nivel estatal se mantuviera constante durante un período en el cual, a nivel nacional, se duplicó.

En América Latina y el Caribe, el 75 % del consumo de electricidad de las viviendas se divide entre refrigeración de alimentos, iluminación y acondicionamiento ambiental, según un reporte del Banco Interamericano de Desarrollo (Urteaga y Hallack, 2021). La emisión por este consumo puede disminuir mediante, primero, la utilización de electrodomésticos eficientes, como refrigeradores de alta eficiencia energética (bajo consumo energético), lámparas LED y aires acondicionados modernos y de alta eficiencia energética, y segundo, el consumo responsable, es decir, el ajuste de la temperatura del refrigerador a la necesaria, evitando el uso innecesario del mismo, el aprovechamiento de la iluminación natural durante el día, el apagado de luces en habitaciones que no se usan, el uso de la ventilación natural, la regulación de la temperatura de los aires acondicionados y la no utilización de estos en espacios vacíos. El mismo reporte estima que los ahorros por la sustitución de estos electrodomésticos pueden alcanzar hasta un 40 % del consumo de cada equipo y que el costo estimado de reemplazar los refrigeradores de los principales mercados latinoamericanos podría ser de USD 7 billones. Finalmente, un mejor aislamiento térmico del hogar podría incrementar el ahorro de las políticas ya mencionadas en un 15 %.

En cuanto al transporte, además del uso de vehículos eléctricos, existen tres acciones que, en los casos en que puedan ser adoptadas, lograrían reducir las emisiones. La primera es la movilidad activa, que se define como realizar recorridos caminando, en bicicleta o vehículos similares, en lugar de utilizar el automóvil. Esta acción es principalmente viable en distancias cortas y en ciudades que cuenten con la infraestructura adecuada, como veredas en buen estado, ciclovías, calles de uso restringido para peatones, etc. La segunda acción es complementaria a la anterior y es el uso del transporte público, acción que fue mencionada en el apartado anterior y la cual podría implementarse en distancias en las cuales caminar o utilizar bicicletas no sea viable. Finalmente, tanto las empresas como los trabajadores deberían considerar el teletrabajo, en caso de que esta opción sea viable y no afecte su proceso productivo. La AIE (2020a) estima que, a nivel global, el 60 % de los viajes en automóvil cubren distancias inferiores a los 10 km y solo el 5 % de esos desplazamientos son de al menos 50 km. Los autores estiman que, si el 50 % de los viajes de 5 km de distancia o menos se reemplazaran por alternativas no contaminantes, se podrían evitar emisiones de 130 millones de toneladas de CO₂ (MtCO₂), que equivalen aproximadamente a un 2 % de las emisiones globales del transporte por carretera.

Una medida relacionada con el consumo responsable es la utilización de temporizadores, aparatos externos al electrodoméstico que permite el encendido o apagado automático de este, o incluso la utilización de electrodomésticos inteligentes, algunos de los cuales tienen incluida la opción de apagado y encendido automático o ser controlados a través del teléfono celular. Los medidores eléctricos inteligentes pueden programar el consumo de electricidad, lo que permite también que la electricidad sea utilizada cuando está disponible en abundancia, reduciendo el consumo cuando las energías renovables más volátiles son escasas.

El trabajo de van Sluisveld et al. (2016) incluye medidas del lado de la demanda en un modelo de evaluación integrada y estiman que dichas medidas en el sector del transporte podrían reducir las emisiones en un 35 % y a nivel residencial, en un 13 %. La AIE (2020a) calcula que las soluciones del lado de la

demanda podrían implicar reducciones de 2 GtCO₂ en 2030, siendo cerca de la mitad de estas reducciones por el lado del transporte por carretera y un cuarto gracias a la reducción de los vuelos de larga distancia, destacando también las disminuciones por los comportamientos en el hogar, principalmente por un descenso en el uso de electrodomésticos de acondicionamiento térmico en las viviendas.

Para cerrar este subapartado, se debe resaltar que una de las principales limitaciones para la adopción de medidas de eficiencia energética por parte de los hogares es el factor económico, seguido por un factor de educación o conocimientos (Andrews-Speed y Ma, 2016; Wolske y Stern, 2018). Gobiernos nacionales y subnacionales han buscado fomentar la adopción de tecnologías que promuevan la eficiencia energética mediante subsidios a la compra. En América Latina y el Caribe existen casos de beneficios para la compra de autos eléctricos, instalación de paneles solares y compras de electrodomésticos de alta eficiencia

energética. Sin embargo, retomando la discusión sobre desigualdad mencionada anteriormente, estos subsidios son en general altamente regresivos, debido a que son principalmente los hogares de clase media o alta los que cuentan con recursos suficientes para comprar este tipo de bienes. Como ejemplo, Borenstein y Davis (2016) muestran que, en Estados Unidos, el 60 % más pobre de la población ha recibido cerca del 10 % de los créditos al impuesto sobre la renta para inversiones en energías limpias, mientras que el quintil superior recibió cerca del 60 % de estos créditos, y resaltan que estos créditos pueden ser incluso más regresivos que los impuestos al carbono sin políticas redistributivas. No solo estos subsidios son altamente regresivos, sino que, a su vez, existe evidencia de que no suelen generar nueva demanda. Xing et al. (2021) estiman, con datos para Estados Unidos, que el 70 % de los subsidios federales fueron utilizados en compras que se habrían realizado incluso sin la existencia de esa ayuda.

Adaptación en el sector energético

El cambio climático está asociado a múltiples impactos en el sector energético. Los principales ejemplos son cambios en las estaciones, lo que modifica las demandas de energía para calefacción y aire acondicionado; reducciones de la eficiencia en la generación de electricidad por sobrecalentamiento o daños en la infraestructura por eventos extremos; problemas de generación hidroeléctrica por estrés hídrico; daños a carreteras, aumentando los tiempos de transporte y la necesidad de inversión en infraestructura vial; y interrupciones en los sistemas o la infraestructura de transmisión y distribución. Estos potenciales daños a la infraestructura, a su vez, potenciarían sus actuales carencias y la necesidad de inversión en ella, y serían un potencial elemento de interrupción del acceso a la energía eléctrica, agravando la problemática de seguridad energética.

Gran parte de la infraestructura actual en el sector energético de la región no fue construida o diseñada para las condiciones climáticas que se prevén para mediados de siglo. Es de gran importancia, por lo tanto, que los nuevos proyectos de infraestructura en el sector tengan en cuenta el factor climático. A

su vez, las líneas de transmisión eléctrica se encuentran mayormente al aire libre, por lo que están más expuestas a las amenazas climáticas. Las altas temperaturas también alteran la efectividad de las líneas transmisoras y conllevan un riesgo de cortocircuito en zonas con presencia de árboles. Una solución a este problema es la construcción de líneas de transmisión subterráneas. Sin embargo, en regiones donde se esperen mayores temperaturas y precipitaciones, se puede anticipar un crecimiento de la vegetación que podría afectar las líneas subterráneas, factor que debe considerarse en su diseño. Esta solución es costosa, dado que implica el reemplazo de todas las líneas de transmisión no subterráneas, pero puede ser de vital importancia para aquellas regiones en las que se espere mayor frecuencia de eventos extremos. Sathaye et al. (2011) muestran que el potencial energético de las plantas de gas natural podría reducirse entre el 0,7 % y el 1 % por cada grado que aumente la temperatura por encima de los 15°C, mientras que Dowling (2013) muestra que los cambios en eficiencia serían del 0,17 % para las plantas a carbón, el 0,24 % para las plantas a gas y el 0,27 % para las de ciclo combinado.



La infraestructura del sector energético de la región no fue diseñada para enfrentar las condiciones climáticas actuales y futuras. Los nuevos proyectos de infraestructura deberán contemplar el factor climático

No solo las líneas de transmisión se encuentran amenazadas, sino también el propio sistema de generación eléctrica. Las temperaturas más altas reducen la eficiencia en la generación eléctrica de centrales termoeléctricas y nucleares en tanto que aumentan la necesidad de agua para el enfriamiento y el riesgo de paralización de las operaciones. La reducción en la frecuencia de lluvias aumenta también los requerimientos de agua para enfriamiento y reduce su disponibilidad, mientras que los eventos extremos amenazan la infraestructura de estas plantas y su conexión con las redes de distribución. Se deberían tener en cuenta todas estas consideraciones al escoger los sitios de instalación de nuevas plantas termoeléctricas y realizar un esfuerzo mayor de mantenimiento para que la actual infraestructura pueda hacer frente a los eventos esperados. A modo de ejemplo, en un plazo de solo tres semanas, entre agosto y septiembre de 2008, las islas del Caribe sufrieron extensos daños por los impactos de los huracanes Gustav, Hanna e Ike. Se estima que este último dañó o destruyó cerca del 95 % de los edificios en las islas Turcas y Caicos y causó daños severos en las plataformas de petróleo y gas del golfo de México. Los huracanes Rita y Katrina en 2005 destruyeron 115 plataformas y 180 tuberías, con daños a la industria estimados por encima de USD 15.000 millones (Contreras-Lisperguer y de Cuba, 2008).

Las energías renovables no están exentas de estos riesgos. Las represas para generación de energía hidroeléctrica, excepto contados casos, fueron instaladas a mediados o fines del siglo pasado, por lo que la mayoría no fue diseñada considerando las amenazas que presenta el cambio climático.

La principal amenaza para las terminales hidroeléctricas, fuera de los eventos extremos, son los cambios en las precipitaciones. Excesos en las precipitaciones pueden generar daños en los muros de las represas y en las turbinas y causar inundaciones, mientras que la

disminución de las precipitaciones limita la capacidad de generación eléctrica. A su vez, los cambios y la variabilidad de las temporadas de lluvia pueden ocasionar excesos y escasez en la generación que afecten la calidad del servicio. Yalew et al. (2020) muestran que el potencial energético de las instalaciones hidroeléctricas de América Latina y el Caribe puede reducirse en casi el 20 % por los impactos del cambio climático, principalmente por el estrés hídrico. Las inversiones necesarias para evitar estos daños se centran en mejorar la predicción de eventos climáticos, aumentar la capacidad de acumulación de agua, mejorar las turbinas, ajustar las frecuencias de liberación de agua y retirar los escombros generados luego de tormentas o vientos fuertes.

En el caso de la energía solar y eólica, la situación es distinta. La instalación más reciente de estas plantas implica que deberían contemplarse los riesgos ya mencionados en su diseño. El principal riesgo meteorológico para la generación de energía eólica son las condiciones de vientos extremadamente fuertes y la variabilidad en los períodos de ventisca. Los vientos fuertes pueden dañar la infraestructura de las turbinas, mientras que la variabilidad afecta la generación eléctrica. Estos riesgos deben ser considerados al momento de decidir dónde instalar los molinos. Otra posible medida de adaptación es la mejora de los servicios meteorológicos para predecir estos eventos.

Finalmente, los mayores riesgos para la energía solar son los aumentos en las nubosidades y en la humedad en el aire. Estos riesgos, que disminuyen la capacidad de generación y conversión eléctrica, pueden ser mitigados parcialmente aumentando la capacidad de utilización de luz difusa por parte de los paneles solares e invirtiendo en capacidad de almacenamiento.

Cabe destacar que estas tres tecnologías renovables utilizan distintos recursos medioambientales y sufren amenazas climáticas distintas. Por ello, una matriz de generación eléctrica que cuente con las tres tecnologías reduce la probabilidad de que todas se vean afectadas simultáneamente. Sin embargo, como ya fuera mencionado, estas políticas requieren inversiones importantes en una región con bajas tasas de ahorro.

Adaptación y mitigación en otros sectores económicos

Industria: sostenibilidad mediante reciclaje y reducciones en la demanda

Las emisiones principales de la industria proceden de los desechos industriales, seguidas por la manufactura de sustancias químicas, la extracción y producción de metales, el proceso del cemento, el acero y el aluminio y, principalmente, su utilización de energía.

En el caso de la manufactura de químicos, la producción de amoníaco causa la mayor parte de las emisiones de CO₂. El amoníaco, principalmente utilizado en la agricultura, tiene efectos negativos en la salud humana, contribuye a la acidificación del suelo y el agua, así como a la emisión de óxido nitroso. El amoníaco es utilizado en fertilizantes, pero también en la producción de farmacéuticos, plásticos, textiles y hasta explosivos. Por lo tanto, la principal forma de mitigar las emisiones de este compuesto sería del lado de la demanda, reduciendo el uso de fertilizantes con alto contenido de amoníaco en la agricultura y la demanda de productos manufacturados que lo utilicen, como, por ejemplo, el plástico.

El plástico es, además, un gran contaminante para el medioambiente, dado que su proceso de descomposición es de entre 100 y 1000 años. A su vez, la tasa global de reciclaje de los plásticos es cercana al 10 %, por lo que el 90 % del plástico se desecha y se reemplaza. Geyer et al. (2017) muestran que el crecimiento en la producción de plástico en los últimos 70 años es del 8,4 %, lo que representa casi 2,5 veces el crecimiento del PIB global y se prevé que se mantenga por encima del 3 % anual en los próximos años.

El proceso para la producción de plástico, además de amoníaco, requiere petróleo y es intensivo en el uso de energía eléctrica, por lo que tiene una elevada huella de carbono. Como ocurre con el amoníaco, las principales políticas de reducción de emisiones son aquellas que fomentan la reducción en la demanda de bienes con alto contenido de plásticos.

En cuanto a los metales, las principales emisiones vienen por la producción de acero, aluminio y hierro. Las tasas de reciclaje de los metales son mucho más altas que las del plástico. Para el acero esta tasa es cercana al 40 %, para el hierro de casi el 50 % y para el aluminio próxima al 35 %. Igualmente, existe margen de mejora para estos porcentajes, lo que permitiría reducir las emisiones en la producción de estos metales.

En el caso del acero, la utilización de hidrógeno basado en fuentes libres de carbono puede lograr que la producción de este metal sea cercana a CO₂ neutral (Vogl et al., 2018). El principal desafío para el uso del hidrógeno verde es su distribución, lo cual requiere gasoductos adecuados y puede hacer que su utilización no sea viable en muchos casos. Para el hierro, el método de fabricación de electrólisis del óxido fundido también promete un escenario de casi neutralidad si la electricidad utilizada es generada a partir de fuentes limpias.

Finalmente, en el caso del cemento existen escasas opciones de mitigación. Una de las políticas que podría lograr la neutralidad en el proceso productivo es la captura y almacenaje de carbono. Sin embargo, actualmente esta opción tiene costos muy altos, lo que puede hacerla mayormente inviable. Existen alternativas al cemento convencional, como el cemento ecológico o cemento verde, que tiene al menos un componente hecho de residuos, un proceso de producción que no daña el medio ambiente, tiene un alto rendimiento y sostenibilidad del ciclo de vida. Algunas de las limitaciones a la utilización de este insumo es la existencia de códigos de construcción que restringen indirectamente su utilización, la dificultad en el cambio de prácticas en la construcción (tradicción) y la mayor necesidad de conocimientos técnicos específicos y habilidades.

Turismo: sostenibilidad mediante la preservación de los ecosistemas

Las emisiones del sector turístico provienen esencialmente del consumo de electricidad y de combustibles, principalmente por el transporte. En el caso de América Central y el Caribe, las mayores amenazas que afronta el turismo son el impacto de esta actividad en el medioambiente y los impactos que se esperan por el cambio climático. Entre ellos se destacan la pérdida de biodiversidad, el aumento de las temperaturas medias y la mayor frecuencia de eventos extremos.



Las mayores amenazas que afronta el turismo en la región son los impactos que se esperan por el cambio climático, como la pérdida de biodiversidad, el aumento de las temperaturas medias y la mayor frecuencia de eventos extremos

Una de las atracciones principales del turismo en el Caribe y algunos países de América Latina es el clima. La estabilidad del clima cálido y de las temporadas de lluvias, junto con la biodiversidad y las playas de la región, son responsables de un flujo constante de visitantes. Sin embargo, los huracanes y tormentas son eventos disuasivos a la hora de elegir los destinos turísticos.

Además de las temperaturas y la estabilidad del clima, la biodiversidad de la región es uno de los grandes atractivos para el turismo y esta se encuentra en peligro (ver el capítulo 3). La creciente demanda de agua deteriora la calidad del recurso y aumenta los riesgos de desertificación y de incendios forestales; la construcción de infraestructura transforma el hábitat y, de ser realizada sin el adecuado planeamiento, puede tener impactos en el paisaje terrestre y marítimo; el aumento del nivel del mar puede generar riesgos de inundación y pérdida de infraestructura; la acidificación y el aumento de la temperatura del océano puede ocasionar pérdidas de biodiversidad, entre otros riesgos ambientales. Todas estas amenazas a la biodiversidad son amenazas al turismo y esto es especialmente importante para los países del Caribe.

Si bien las zonas costeras son las que enfrentan las mayores amenazas, el cambio climático presenta

riesgos también para otras zonas turísticas, como la Patagonia, donde el cambio climático implicará la retirada de glaciares y la reducción de las precipitaciones y la nieve, y los sitios de alto interés cultural, como la Isla de Pascua o las Islas Galápagos, entre otras. Un reporte de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) (Osipova et al., 2020) muestra que el cambio climático es una gran amenaza para 93 de los 252 patrimonios de la humanidad considerados en el reporte. De estos 93 sitios, 23 se encuentran en América Latina y el Caribe, donde se destacan las islas y las áreas protegidas del Golfo de California en México y la Reserva de la biosfera de Río Plátano en Honduras. Según el estudio, esos bienes se encuentran en estado crítico, es decir, que requieren de mayores medidas inmediatas de conservación a gran escala para mantener o restaurar los valores del lugar a corto y medio plazo.

Los mayores esfuerzos para preservar los ingresos y la actividad del sector deben estar en la implementación de políticas de adaptación para minimizar los daños esperados por el cambio climático y de conservación de la biodiversidad. A continuación, se lista una serie de políticas que deberían ser adoptadas en el corto plazo en ambos ámbitos:

- La regulación para proyectos del sector o en regiones de alto interés turístico. Entre estas se incluyen normas de construcción y prohibiciones al desarrollo turístico en zonas de riesgo medioambiental.
- El reconocimiento y adopción de prácticas medioambientales, como las de turismo sustentable.
- El manejo de costas y recursos hídricos. Esto incluye la protección de la calidad del agua, la conservación de la biodiversidad, la gestión de la erosión costera, la prevención de inundaciones y el manejo de los recursos pesqueros.
- Finalmente, una política que beneficiaría de gran manera al sector turístico es la creación de mercados de pagos por servicios ambientales. Estos mercados proveerían un incentivo monetario adicional que generaría un beneficio extra a la conservación de la biodiversidad. El capítulo 3 analizará con más detalle este instrumento.

Construcción: ciudades y edificios sustentables

Casi todas las emisiones del sector de la construcción provienen del uso de energía. El sector además demanda una gran cantidad de insumos industriales, como el cemento, el acero, el aluminio, etc., con una elevada huella de carbono. Igualmente, existen medidas de adaptación y mitigación de relevancia para el sector, las cuales tienen un gran potencial para América Latina y el Caribe dada la alta tasa de urbanización de la región y la gran necesidad de inversión en infraestructura física.

La principal política que sirve tanto para la adaptación como para la mitigación del cambio climático es la certificación de códigos de energía para la construcción. Estos códigos se implementan para regular la construcción y operación de edificios con el objetivo de minimizar en ellos el consumo de energía. La certificación de construcciones verdes o sustentables, además de tener un impacto medible en el medioambiente, genera valor para los constructores y los propietarios, valorizando el inmueble, al tiempo que proporciona ahorros energéticos para las personas que ocupan esos edificios. Algunos de estos códigos incluyen, entre otros, espacios para la colocación de paneles solares, ventilación natural, terrazas verdes multifuncionales, calentamiento solar del agua, captura y reciclaje de aguas pluviales y espacios verdes. Estas políticas reducen la necesidad de calentamiento y enfriamiento, aprovechan la energía solar, mejoran la gestión del agua, incluyen áreas verdes que capturan carbono y son diseñadas para hacer frente a las inclemencias esperadas por el cambio climático.

En América Latina y el Caribe existen casos de certificaciones tanto locales como internacionales. La Corporación Financiera Internacional creó en 2012 un sistema de certificación de edificios que se encuentra presente en todos los países de América Latina y el Caribe, denominado EDGE (excelencia en diseño para mayores eficiencias). A nivel local se

destacan iniciativas en Brasil (el sello EDIF y Procel EDIFICA), en Chile (el sello CES) y en Colombia (CASA Colombia).



La principal política para el sector de la construcción, que sirve tanto para la adaptación como para la mitigación del cambio climático, es la certificación de códigos de energía

El sector de la construcción tiene mucho que ofrecer en materia de diseño y edificación para vivienda u oficinas, pero también en la planificación urbana. García y Giambiagi (2022) ofrecen una visión detallada de la planificación y gestión urbana focalizada en la promoción de la salud, con una visión desde la región y hacia la misma. Estas iniciativas permiten el control de la temperatura en zonas urbanas y la reducción de la contaminación acústica y del aire, proveen zonas de contención, que reducen la contaminación visual y permiten estabilizar las riberas de los ríos, y protegen contra tormentas e inundaciones, mientras que proporcionan espacios recreativos y zonas que promueven la actividad física. El capítulo 3 entrará más en detalle en las políticas para espacios públicos. Las políticas de adaptación deben responder al reto de la gran cantidad de asentamientos informales que caracterizan a las ciudades de la región (Daude et al., 2017), muchos de los cuales están ubicados en zonas expuestas a los impactos del cambio climático. Hagen et al. (2022) hacen una evaluación de la literatura sobre los riesgos de pérdidas de vidas y de infraestructura debido a impactos climáticos para América Latina y el Caribe, donde destacan las amenazas de inundaciones, derrumbamientos y sequías, entre otros, y señalan las principales medidas de adaptación por impacto climático.

Minería: insumos para un futuro con energías renovables

Los minerales como el litio y el cobre son de vital relevancia para la transición energética. El litio es un elemento clave para las baterías necesarias para el almacenamiento de la electricidad producida mediante fuentes renovables y en los vehículos eléctricos. Por su parte, el cobre es un excelente conductor de energía, infinitamente reciclable. Por ello, a medida que las economías se electrifiquen y la demanda de electricidad aumente —entre otros factores, por el crecimiento poblacional—, la demanda de cobre y litio aumentará aún más.

El mercado del litio sigue siendo pequeño en comparación con los mercados de los principales minerales, como el acero, el carbón, el aluminio e incluso el cobre, aunque proyecciones de la AIE estiman que la demanda de este mineral podría aumentar 40 veces para mediados del siglo (ver el capítulo 5).

Por su dotación de minerales, la región tiene la capacidad de ser un agente clave en la transición energética a nivel global. Chile es el primer productor mundial de cobre, seguido por Perú, mientras que en litio Chile y Argentina son segundos y terceros en la producción mundial, respectivamente, y entre ambos poseen el 51,8 % de las reservas mundiales de dicho mineral. Bolivia cuenta con las mayores reservas no utilizadas de litio y recientemente se han descubierto yacimientos de este mineral tanto en México como en Perú.

El cobre y el litio no figuran entre los minerales más contaminantes, siendo el aluminio el que más emisiones de GEI genera en su proceso extractivo y productivo. Dado que casi la totalidad de las emisiones del sector son por uso de energía, las políticas de transición energética mitigarían casi todas las emisiones del sector en la región. En particular, las minas podrían contribuir mediante el uso de energías renovables, como los paneles solares y los molinos de viento en los casos que la geografía lo permita. A su vez, el uso del hidrógeno verde para los procesos industriales que requieran altas temperaturas también ayudaría a mitigar parte de las emisiones por la quema de combustibles y las emisiones fugitivas. En términos de consumo de energía por transporte, la sustitución, cuando es posible, de camiones por correas transportadoras potenciadas por electricidad

también reduciría otra de las emisiones principales del sector.

El desafío principal que afronta el sector no es tanto del lado de sus emisiones de GEI como del impacto que la minería tiene sobre el ambiente y las comunidades locales. Esto ha sido causa de conflictos sociales que han frenado o cancelado proyectos mineros. Los gobiernos y la industria deben ser proactivos para minimizar estos daños y los conflictos sociales que surgen como consecuencia de ellos, garantizando que las comunidades locales sean las principales beneficiarias de estos proyectos.

Uno de los daños mayores de la minería se produce en el agua. La minería contamina ríos y aguas subterráneas, afectando no solo a los ecosistemas, sino también al agua potable y a la productividad en zonas agropecuarias cercanas. Al mismo tiempo, la minería utiliza grandes cantidades de agua en su proceso productivo. Las tres políticas principales en este sentido son 1) la gestión del agua y de los tratamientos de residuos en agua para minimizar los daños generados; 2) el aumento del uso de agua de mar en el proceso productivo, y 3) la reutilización de aguas residuales en el proceso productivo.



Proyecciones de la AIE estiman que la demanda del litio podría aumentar 40 veces para mediados del siglo

Finalmente, una de las prácticas que ya se realizan en general y tiene gran relevancia para el sector es la recuperación de minas en desuso. Las explotaciones mineras abandonadas son fuentes contaminantes y continúan liberando gases de efecto invernadero y contaminantes del aire. Dentro de los proyectos con este fin suelen incluirse la reconstrucción topográfica del terreno, el reemplazo de la capa superior del suelo y su reconstrucción, y su revegetación.



Para más información sobre proyectos de CAF que permitan mantener la actividad productiva del sector agropecuario y regenerar la biodiversidad, mire el video en este QR.