



Punto de partida: sistemas energéticos de ALyC

● Los atributos que se requieren de la energía

● Cómo se compone la matriz energética en América Latina y el Caribe

● El vínculo entre la eficiencia y las emisiones en el sector energético

3

Mensajes clave

1

El consumo energético per cápita de América Latina y el Caribe representa aproximadamente un 65 % del consumo per cápita mundial. Para obtener 25,4 exajulios de productos energéticos finales en la región, se necesitan 35,2 exajulios de insumos.

2

La electricidad representa apenas un 20 % del consumo energético total, mientras que el 80 % restante se atiende con combustibles de origen mayoritariamente fósil.

3

Un 57 % de la generación eléctrica de la región proviene de fuentes no combustibles, con un importante predominio de la hidroenergía. Las energías renovables no convencionales representan el 11 %. Sin embargo, la intensidad de emisiones de la electricidad en algunos países continúa siendo elevada, incluso cuando se la compara con el uso directo de vectores combustibles como el gas natural.

4

La intensidad de emisiones de la energía resulta de dos elementos: la eficiencia de los sistemas energéticos y la combinación de insumos primarios que se usa para proveer energía a los usuarios finales (receta energética).

5

El cambio en la receta energética implica una sustitución de fuentes de energía de emisiones elevadas, como las fósiles, por energías limpias. El habilitador clave para este cambio es la electrificación del consumo, porque existen muchas tecnologías para producir electricidad con emisiones bajas o nulas.

6

Los diversos usos de la energía requieren que esta tenga atributos particulares. Algunos usos son aún difíciles de atender con electricidad porque carece de esos atributos. Por esto, la promoción de combustibles alternativos de bajas emisiones reviste una importancia central.

7

La eficiencia de los sistemas ofrece un espacio importante para las políticas públicas en materia energética, ya que permite reducir las emisiones en el corto y mediano plazo, mientras subsistan las fuentes de energía de origen fósil. Las dimensiones centrales en este ámbito son las mejoras de la eficiencia en la transformación de combustibles y en la generación de electricidad, la reducción de las pérdidas técnicas de transmisión y distribución y la eliminación de las emisiones fugitivas.

8

Los vectores energéticos pasan por diversos procesos de transformación desde su fuente primaria hasta su consumo final que resultan en pérdidas. Además, la cadena de valor de los combustibles fósiles involucra emisiones fugitivas. Estos dos factores amplifican las emisiones de GEI originadas por el consumo de energía y pueden representar hasta un 34 % de estas dependiendo del tipo de combustible.

9

Las emisiones de GEI por el uso de gas natural son las más bajas entre los combustibles fósiles. En el momento del consumo, esas emisiones son un 24 % menos que las liberadas por el gasóleo y un 32 % inferiores a las producidas en toda la cadena de valor.

Punto de partida: sistemas energéticos de ALyC¹

Introducción

La energía es un recurso esencial para el bienestar y el progreso económico de la sociedad, desempeñando un papel crucial en la vida cotidiana de las personas y en la producción de bienes y servicios. Los hogares dependen de la energía para llevar a cabo tareas fundamentales, como la iluminación, la cocción de alimentos, la regulación de la temperatura en edificaciones y el transporte. Además, la energía constituye una porción central del valor agregado de prácticamente todos los productos que se consumen.

A pesar de su importancia, el uso de energía también es el principal contribuyente mundial a la crisis ambiental que enfrenta la humanidad, siendo el calentamiento global su manifestación más acuciante. En este contexto, la transición energética emerge como un imperativo para abordar esa crisis y garantizar un desarrollo sostenible. Este proceso implica un cambio en la matriz energética de los países para disminuir su impacto en el calentamiento del planeta, reduciendo la dependencia de los combustibles fósiles y

aumentando la participación de fuentes de energía limpias y renovables, como la solar, eólica, hidroeléctrica y geotérmica, entre otras.

La transición energética abarca todas las acciones que permiten reducir el impacto en el calentamiento global asociado al consumo de energía. Más precisamente, comprende todas las medidas posibles para disminuir la intensidad de gases de efecto invernadero (GEI) totales que requiere cada unidad de bienestar lograda por el consumo de energía; por ejemplo, el bienestar que se obtiene al moderar la temperatura de una vivienda con aire acondicionado. El capítulo anterior aproxima este concepto a través de la medición de las emisiones por unidad de producto interno bruto (PIB). A su vez, descompone esta medida en un componente de eficiencia energética (energía por unidad de PIB) y otro de intensidad de emisiones (emisiones por unidad de energía).

¹ Este capítulo fue elaborado por Walter Cont y Federico Juncosa con la asistencia de investigación de Lautaro Carrizo y Agustín Staudt.

Este capítulo busca analizar la intensidad de emisiones de la energía (segundo componente) considerando, a su vez, dos elementos. El primero es la eficiencia de los sistemas energéticos, que se refiere a la cantidad de insumos energéticos requeridos para llevar una unidad de energía a los usuarios finales. El segundo es la receta energética, es decir, la combinación de insumos (por ejemplo, petróleo, leña, energía hidráulica) consumidos para proveer energía a los usuarios finales. Estos tipos de insumos energéticos, conocidos como fuentes de energía primaria, pueden llevar asociados distintos niveles de intensidad de emisiones, por lo que cambios en esa combinación implican variaciones en las emisiones.

Tanto las mejoras en la eficiencia de los sistemas energéticos como los cambios en la combinación de fuentes de energía que se usan tienen un rol importante para la descarbonización. El nuevo equilibrio deseado a largo plazo requiere indefectiblemente de grandes alteraciones en la receta, desde fuentes de energía sucias hacia fuentes de energía bajas en emisiones. A su vez, el habilitador clave de este cambio es la electrificación del consumo, puesto que existen actualmente muchas maneras de producir electricidad a partir de fuentes limpias para sustituir a las fuentes de elevadas emisiones, lo que se discute en

profundidad en el capítulo 4. Sin embargo, esta estrategia enfrenta desafíos en el caso de usos de energía que son difíciles de atender con electricidad. Lo que quede fuera del alcance de la electrificación requerirá alternativas de combustibles con bajas emisiones, discutidas en el capítulo 5. Durante la transición, pueden adoptarse estrategias para cambiar la receta que involucran el reemplazo de ciertos combustibles por gas natural, el cual, como se verá más adelante, muestra un menor impacto ambiental.

Las mejoras en la eficiencia de los sistemas energéticos tienen un rol importante para reducir su impacto en el calentamiento global, puesto que las pérdidas de energía que se producen hasta llevarla al usuario final actúan como un multiplicador de las emisiones de la energía que se consume. Por lo tanto, un uso más eficiente de los insumos energéticos permitiría reducir las emisiones en el corto y mediano plazo. En este capítulo se aproximarán estas pérdidas de energía con la información disponible para los países de la región. Dentro de este mejor uso de los insumos energéticos se encuentra la eliminación de las emisiones fugitivas asociadas a la industria de los hidrocarburos, que, como se expone más adelante, es un contribuyente sustancial a las emisiones en la región.

Uso de la energía y atributos necesarios

La energía tiene usos muy diversos en la sociedad. Cada uno de ellos requiere de un conjunto de atributos particulares en la energía que se consume. Los usos suelen clasificarse en calor (para la preparación de alimentos y ciertos procesos industriales), refrigeración, movimiento (se aplica al transporte, pero también a las maquinarias industriales), iluminación y netamente electrónicos (para las comunicaciones y la computación). Al mismo tiempo, se pueden diferenciar tres usos en función de dónde ocurren: fijos urbanos, fijos rurales o remotos, y móviles.

Los usos pueden ser satisfechos a través de diversos vectores de energía, término que refiere al medio o sustancia a través del cual se almacena, transporta y entrega energía en una forma utilizable, como la electricidad o los combustibles. Cada vector tiene atributos particulares que lo hacen más adecuado para determinados usos. Estos son la facilidad de despacho, de almacenamiento y de transporte².

² El despacho se refiere a la facilidad con la que la energía puede ser entregada a requerimiento tanto en términos de encontrarse disponible en el instante en que se necesita como de potencia necesaria (energía consumida por unidad de tiempo). La facilidad de transporte y de almacenamiento están asociadas a la densidad energética en términos de energía contenida por unidad de volumen (densidad volumétrica) y en relación con el peso (densidad gravimétrica). La facilidad de almacenamiento, adicionalmente, requiere que el recurso energético sea estable y seguro bajo las condiciones ambientales a las que se lo somete en esta fase del proceso.



La energía tiene usos muy diversos en la sociedad. Cada uno de ellos puede ser satisfecho a través de diversos vectores energéticos

La electricidad tiene un conjunto de virtudes para el consumo y la producción. Permite atender una multiplicidad de usos energéticos de manera eficiente y segura. Además, existen numerosas tecnologías para generar electricidad con diversos insumos. La contracara es que la electricidad tiene los mayores costos de almacenamiento y transporte, debido en gran medida a la baja densidad energética de los medios de almacenamiento actuales. Casi la totalidad de la electricidad se entrega mediante una conexión continua a redes de transporte y distribución. Los usos de electricidad móviles y remotos, sin acceso continuo a la red, requieren del almacenamiento en baterías, que aún resulta costoso.

Los combustibles que se usan en la actualidad, por otro lado, se destacan por su elevada densidad energética y la relativa facilidad con la que pueden ser almacenados y transportados. Son fundamentales en aplicaciones que requieren grandes cantidades de energía en espacios reducidos o donde se necesita una liberación rápida de energía, como en el transporte aéreo o marítimo y en ciertos procesos industriales que demandan altas temperaturas. Sin embargo, su consumo presenta desafíos significativos para la descarbonización, dado que la mayoría de los combustibles con alta densidad energética provienen actualmente de fuentes fósiles. La transición hacia combustibles de baja huella de carbono, como los biocombustibles de fuentes sostenibles o el hidrógeno verde, enfrenta grandes retos en cuanto a costos, tecnologías de producción y adaptación de la infraestructura existente.

El transporte liviano, que es un uso móvil donde la cantidad de energía que se requiere almacenar es acotada, puede ser atendido fácilmente con electricidad, aprovechando la infraestructura de

transporte para esta forma de energía que existe en los entornos urbanos y la capacidad de las baterías para su almacenamiento eficaz y seguro. Los usos urbanos no requieren generalmente de un gran almacenamiento porque pueden depender de redes de distribución densas y bien desarrolladas, que proporcionan un suministro de energía constante y confiable. La infraestructura de red permite que la energía sea despachada a medida que se necesita, minimizando la necesidad de almacenamiento a gran escala.

En cambio, para los usos energéticos en lugares remotos, la capacidad de almacenamiento suele ser un atributo central, como en el caso de las explotaciones mineras y agrícolas. Además, el transporte aéreo es un uso móvil muy sensible a la densidad energética por volumen y peso. La capacidad y densidad energética de las baterías que existen en la actualidad imponen una limitación técnica al rango y capacidad de carga de los aviones eléctricos, que lo hacen impráctico. La aviación necesita combustibles con alta densidad energética, como los derivados del petróleo, para cumplir con sus requerimientos de alcance y potencia.



Los combustibles que se usan en la actualidad tienen una elevada densidad energética y pueden ser almacenados y transportados con facilidad

Finalmente, los usos que implican muy altas temperaturas, como ciertos procesos industriales, enfrentan grandes desafíos técnicos para ser atendidos con electricidad. Por ejemplo, los procesos de fabricación de hierro y cemento requieren temperaturas que exceden los 1.000 °C, más fácilmente alcanzables a través de la combustión directa. Estos procesos necesitan desarrollos tecnológicos que permitan lograr altos niveles de temperatura de manera sostenible y con fuentes renovables.

Matriz energética en América Latina y el Caribe

De manera esquemática, el sistema energético de un país consiste en la producción de fuentes de energía primarias, que atraviesan diversos procesos de transformación, transporte y distribución. Además, los países realizan intercambios comerciales tanto de insumos primarios como intermedios o finales. Finalmente ocurren los usos finales de energía. En cada una de esas etapas se pierde energía, bien sea porque esta se usa para el propio proceso (energía útil consumida por el sector energético), bien porque incurren pérdidas en forma de calor, ruido o fugas, lo que se conoce como energía rechazada. La relación entre el consumo total y los insumos energéticos usados captura de manera conjunta la eficiencia global del sistema.

El cuadro 3.1 presenta la matriz energética agregada de América Latina y el Caribe con valores promedio de los últimos 5 años disponibles, entre 2017 y 2021. La matriz parte de los insumos energéticos primarios (columna a) y llega a los consumos finales de energía según el sector (columna e). El cuadro muestra en la parte superior la submatriz eléctrica, destacando los insumos primarios usados para generar electricidad y distinguiendo la generación a partir de combustibles y fuentes no combustibles, así como los consumos de electricidad según el sector. En la parte inferior se muestra la submatriz de uso de combustibles, identificando de manera análoga los insumos según el tipo y los consumos según el sector.

El consumo energético total de América Latina y el Caribe alcanza 24,2 exajulios (EJ) al año, que equivalen a 36,3 gigajulios (GJ) per cápita, aproximadamente un 65 % del consumo per cápita mundial³. De este, un 20 % corresponde al vector de electricidad, mientras que el resto se realiza a través de vectores energéticos combustibles, como los combustibles líquidos, la leña y el gas natural. Además, se consumen 1,2 EJ de combustibles para fines no energéticos.



El consumo energético total de América Latina y el Caribe alcanza 24,2 exajulios (EJ) al año, del cual un 20 % corresponde al vector electricidad y el resto a vectores energéticos combustibles

Los 25,4 EJ de productos energéticos finales (consumo final de energía para uso energético y no energético) se obtienen a partir de un conjunto de insumos, llamados fuentes de energía primaria (columna a del cuadro 3.1), que totalizan 35,2 EJ⁴. La diferencia entre las fuentes de energía primaria y el consumo puede atribuirse a tres factores: 1) los procesos de producción de los insumos energéticos; 2) los procesos de transformación que atraviesan los productos energéticos hasta que llegan a los usuarios finales; y 3) el transporte de esos productos entre las etapas de producción, transformación y uso final. Cada una de esas etapas requiere usar energía y resulta en pérdidas de energía de variada naturaleza. La producción de petróleo, por ejemplo, consume energía (generalmente, gas natural) para el bombeo que suele requerirse a fin de presurizar los yacimientos en la actividad de extracción del crudo y llevar este por ductos u otros modos de transporte terrestre y marítimo.

En la región, el consumo de electricidad alcanza 4,78 EJ. A su vez, la cantidad de generación eléctrica ha sido estimada en 5,89 EJ. La diferencia entre el consumo y la generación responde, en parte, al autoconsumo de electricidad, es decir, a la electricidad usada en el proceso de los centros de generación, y, en parte, a la existencia de pérdidas de transmisión y distribución.

3 Según información de la AIE (2023x), el consumo de América Central y del Sur es de 39,7 GJ per cápita (excluyendo México), lo que equivale al 71 % de los 55,6 GJ per cápita de consumo mundial (AIE, 2023x, tablas A.23 y B.1).

4 Esto está en línea con lo observado a nivel global, puesto que se calcula un consumo energético de 439 EJ a partir de insumos estimados en 624 EJ (AIE, 2023v).

Cuadro 3.1

Matriz energética de América Latina y el Caribe en valores promedio de 2017-2021

Oferta primaria e importación de energía secundaria (a)		Pérdidas de transformación y autoconsumo (b)	Generación (e importación neta de electricidad) (c)	Pérdidas de transmisión y distribución (d)	Consumo final (e)	
Generación no combustible	Hydroenergía	2,70				
	Geotermia	0,19				
	Nuclear	0,39				
	Solar	0,10				Residencial 1,38
	Eólica	0,33				Agricultura, pesca y minería 0,41
	Subtotal no combustible	3,72	0,38	3,34		Comercio 1,01
Generación combustible	Gas natural	3,92				Transporte 0,02
	Petróleo y derivados	1,25				Industria 1,89
	Carbón	0,92				Construcción 0,07
	Biomasa	1,10				Subtotal consumo eléctrico 4,78
		Subtotal combustible	7,19		2,55	
	Importaciones netas	0,00		0,00		
	Subtotal para generación eléctrica	10,91	4,64	5,89	1,10	Consumo eléctrico 4,78
Combustibles uso final	Gas natural	5,91				Residencial 2,90
	Petróleo y derivados	11,91				Agricultura, pesca y minería 1,04
	Carbón	1,00				Comercio 0,36
	Biomasa	5,36				Transporte 9,34
	No energético	0,06				Industria 5,64
						Construcción 0,13
						Consumo energético combustibles 19,41
						Consumo no energético 1,19
	Subtotal para combustibles	24,24	3,64			Consumo de combustibles 20,60
	Total	35,15				Consumo total 25,38

Nota: El cuadro reporta los valores agregados de la matriz energética de ALyC con los últimos datos disponibles para el período 2017-2021. La matriz tiene como principales valores los insumos para la generación y combustibles de uso final (columna a), la generación de electricidad (columna c) y el consumo (total y desagregado por sectores y tipo de uso, en la columna e). En el área de color violeta, se desagrega (en la columna a) entre "insumos para generación no combustible" e "insumos para generación con combustibles", que se utilizan para la generación eléctrica correspondiente a cada tipo (columna b). Se pueden encontrar más detalles de los cálculos realizados en el apéndice (disponible en línea).

Fuente: Elaboración propia con base en datos de OLADE (2023b).



El consumo anual de electricidad en América Latina y el Caribe es de 4,78 EJ, mientras que la generación alcanza 5,89 EJ. La diferencia responde al autoconsumo y pérdidas de transmisión y distribución

La electricidad se obtiene a través de tecnologías diversas que pueden agruparse en dos: la generación a partir de combustibles y la generación a partir de insumos no combustibles. Dentro de la generación no combustible, la nuclear suele considerarse no renovable porque requiere de un insumo energético susceptible de agotamiento, el uranio. Este insumo, si bien es relativamente abundante en la corteza terrestre, estrictamente es un recurso finito de producción costosa, tanto en su extracción como en su enriquecimiento, cuando este es necesario, y su disposición, luego de ser utilizado.

Por otro lado, en la generación de electricidad a partir de combustibles pueden usarse insumos de fuentes renovables, como la leña o los desechos agrícolas. Los combustibles de origen vegetal y animal son renovables, aunque en el momento de su quema producen emisiones comparables a las de origen fósil. Sin embargo, en determinadas condiciones, pueden considerarse bajos en emisiones puesto que el carbono liberado en la combustión debió ser capturado de la atmósfera poco tiempo antes. La intensidad de emisiones que se les atribuye depende en última instancia de la sostenibilidad con la que se gestiona su ciclo de vida, como se discute en profundidad en el capítulo 5.

La generación eléctrica no combustible alcanza 3,34 EJ obtenidos a partir de 3,72 EJ de insumos. La diferencia proviene de pérdidas en la transformación a electricidad (por ejemplo, pérdidas de calor en generación geotérmica y termonuclear) o de energía no aprovechada, como los casos en que se vierte agua de presas hidroeléctricas (por ejemplo, por limitaciones del nivel de agua en la presa) sin entregar electricidad. Dentro de esta categoría, la hidroenergía representa la porción mayoritaria, ya que le

corresponde el 72 % de los insumos de generación no combustible y un 45 % de los insumos totales de generación eléctrica. La generación solar y eólica alcanzan conjuntamente el 12 % de la generación total, casi duplicando la nuclear.

Por su parte, la generación a partir de combustibles representa en la región un 43 % del total, sumando 2,55 EJ de energía, obtenidos a partir de 7,19 EJ de insumos energéticos combustibles (gas natural, derivados del petróleo, biomasa y carbón). Esta diferencia entre los insumos primarios de combustibles usados y la electricidad generada, que alcanza el 65 %, responde a los procesos de transformación por los que atraviesan, que incluyen no solo las pérdidas por generación, sino también los procesos previos para obtener los combustibles usados como insumos (principalmente el refinamiento de petróleo para la obtención de combustibles líquidos) y las pérdidas en el transporte de esos insumos.



El 43 % de la generación eléctrica total de la región proviene de combustibles. En promedio, por cada unidad de generación de ese origen se requieren 2,8 unidades de insumos primarios combustibles

La parte izquierda del cuadro 3.1 muestra los insumos requeridos para obtener los productos energéticos finales que se consumen. Los insumos combustibles pueden categorizarse en dos: 1) los recursos fósiles, entre los que se encuentra el gas natural, el petróleo y sus derivados, y el carbón mineral en sus variantes; y 2) los insumos combustibles derivados de materia orgánica (por ejemplo, compuestos de carbono no fosilizado). Entre estos se encuentran la leña, el carbón vegetal (producido por la combustión incompleta de la leña), el biometano (gas producido en la fermentación de materia orgánica) y los combustibles líquidos derivados de productos agrícolas, como el diésel de aceite de palma o de soja, y el etanol, producido a partir de azúcar de caña o maíz⁵.

⁵ Los insumos contabilizados corresponden a la oferta total (producción doméstica más importaciones netas) de combustibles primarios (p. ej., petróleo, carbón mineral, gas natural, leña, etc.) más las importaciones netas de combustibles secundarios (p. ej., gasolina y demás derivados del petróleo, coque y demás derivados del carbón mineral, y carbón vegetal).



En la generación, el gas natural representa más de la mitad del valor energético de los insumos combustibles, mientras que los derivados del petróleo y el carbón representan el 17 % y el 13 %, respectivamente. Estas cifras sintetizan el resultado del proceso de transición que se produjo durante los últimos 40 años, en los que el gas natural sustituyó una parte importante de los combustibles líquidos (Cont et al., 2022).

En cuanto al consumo final de combustibles (parte inferior-derecha del cuadro 3.1), este alcanza 19,4 EJ en América Latina y el Caribe, cuadruplicando el consumo eléctrico. Además del consumo energético, los insumos primarios combustibles son usados en otros procesos productivos (por ejemplo, gas natural para la producción de amoníaco o urea, o derivados de petróleo para la producción de plásticos), representados

aquí como consumo no energético y totalizando cerca de 1,2 EJ en la región. Para producir y distribuir estos combustibles a los usuarios finales, son necesarios 24,2 EJ de insumos energéticos. Es decir que 15 % de los insumos energéticos requeridos para el consumo final de combustibles acaba en pérdidas durante los procesos de transformación, principalmente asociados al refinamiento del petróleo, y su transporte, mientras que el gas natural suele presentar pérdidas por causa de fugas en los sistemas⁶.



Un 15 % de los insumos energéticos requeridos para el consumo final de combustibles acaba en pérdidas durante los procesos de transformación

Indicadores clave de los países

Examinando matrices energéticas análogas a la presentada en el cuadro 3.1 para cada uno de los países de la región, es posible obtener un conjunto de indicadores que informan sobre su grado de dependencia de los combustibles fósiles y las fuentes de

energía convencionales (la tasa de electrificación del consumo y la participación de la generación no combustible). Los indicadores también informan sobre la eficiencia de los procesos de transformación y transporte, desde insumos energéticos a consumos.

Electrificación del consumo

El gráfico 3.1 muestra la tasa de electrificación del consumo en América Latina y el Caribe por país y el valor para toda la región (panel A). La tasa para el conjunto de América Latina y el Caribe ronda el 20 %, una cifra igual al valor mundial y un 10 % inferior al de la OCDE (AIE, 2021f). Sin embargo, presenta grandes diferencias entre los países de la región, desde mínimos del 1 % y el 7 % en Haití y Guatemala, hasta máximos del 26 % y el 27 % en Panamá y Surinam, respectivamente.

El panel B muestra la tasa de electrificación mínima, promedio y máxima de los países de América Latina (en morado) y del Caribe (en azul) según el sector. En el agregado, el transporte es el que presenta menor electrificación (virtualmente nula para América Latina), seguido de los sectores industrial, residencial y comercial. En estos tres últimos, sin embargo, se observan grandes variaciones entre los países, siendo esta dispersión mayor en el conjunto de países del Caribe que en los de América Latina.

⁶ Uno de los usos energéticos descriptos en las matrices energéticas de OLADE corresponde a la categoría "consumo propio". Esta representa la cantidad de energía que el propio sector energético necesita para su funcionamiento, es decir, aquel que se transforma en energía útil para alguna parte del proceso de oferta energética, como el refinamiento de petróleo, la compresión de gas, la propulsión de ductos, etc. En el cuadro 3.1 estos conceptos son restados de la oferta energética y considerados dentro de las pérdidas de eficiencia del sistema de producción de energía.



El transporte es el sector con menor tasa de electrificación en la región, seguido por el industrial, el residencial y el comercial

El sector industrial presenta valores máximos del 43 % en América Latina (Perú) y del 38 % en el Caribe (República Dominicana), mientras que registra mínimos del 6 % (Belice) en la primera subregión y del 5 % (Granada) en la segunda. Los valores del sector residencial en América Latina están entre el 4 % (Guatemala) y el 69 % (Costa Rica), mientras que en el Caribe se encuentran entre el 1 % (Haití) y el 74 %

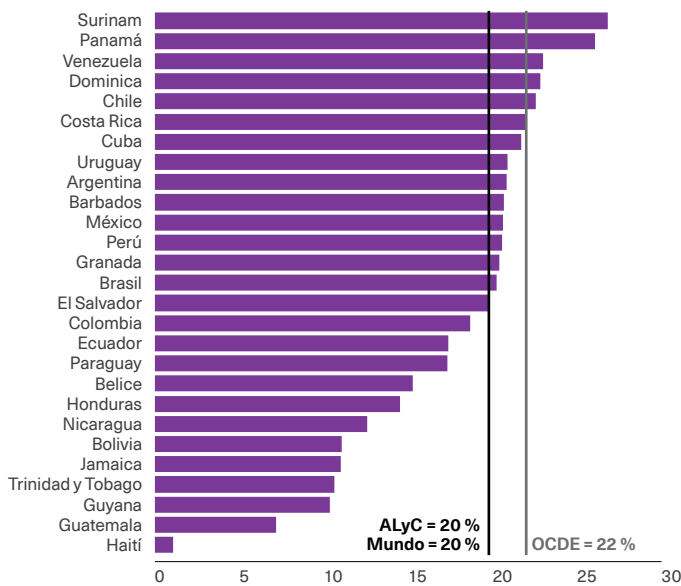
(Trinidad y Tobago). El sector comercial en Latinoamérica presenta tasas de entre el 34 % (Nicaragua) y el 92 % (Paraguay), en tanto que en el Caribe se sitúan entre el 6 % (Haití) y el 93 % (Trinidad y Tobago).

Los patrones de electrificación por sector observados obedecen en parte a la adecuación entre los usos energéticos y las propiedades descriptas en el apartado "Uso de la energía y atributos necesarios", tal como se manifestó durante la consolidación de estos sectores. Un ejemplo es el transporte automotor, en el que la electrificación ha sido viable solo recientemente gracias a la disponibilidad de baterías de suficiente capacidad.

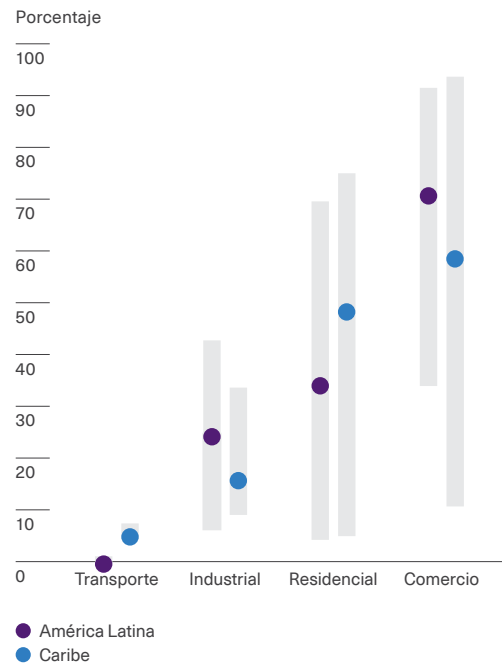
Gráfico 3.1

Tasa de electrificación por país y sector

Panel A.
Países de la región



Panel B.
Máximos, promedios y mínimos por sector



Nota: El gráfico presenta la tasa de electrificación de ALyC por país (panel A) y por sector (panel B). Este última se calcula como la participación de la electricidad en el consumo del sector respecto al consumo de energía total del respectivo sector, con previa conversión de las unidades físicas a calóricas. A nivel de país, se agrega el consumo de electricidad de todos los sectores y se calcula su proporción respecto a su consumo de energía total. La tasa de electrificación para "mundo" corresponde al valor de 2021, mientras que para la OCDE el valor corresponde al año 2019.

Fuente: Elaboración propia con base en AIE (2021b, 2023v) y OLADE (2023b).

Con la tecnología actual es posible que la electrificación no enfrente grandes obstáculos en los sectores residencial y comercial, donde prevalecen los usos energéticos fijos, en su mayoría en entornos urbanos, donde se cuenta con acceso a redes eléctricas. En el sector del transporte, existen tecnologías alternativas cada vez más competitivas para la electrificación del transporte urbano, mientras que subsisten grandes desafíos para el transporte de cargas y de larga distancia. El sector industrial

mostrado en el gráfico 3.1 incluye los usos energéticos de muy altas temperaturas, de difícil electrificación. En línea con esta descripción, el escenario proyectado de cero emisiones netas (CEN) de la AIE establece tasas de electrificación para 2050 que alcanzan el 66 % para el sector edificio (aquí representados como comercio y residencial), mientras que rondan el 44 % y el 46 % para los sectores de industria y transporte, respectivamente (AIE, 2021f).

Generación no combustible y renovable no convencional

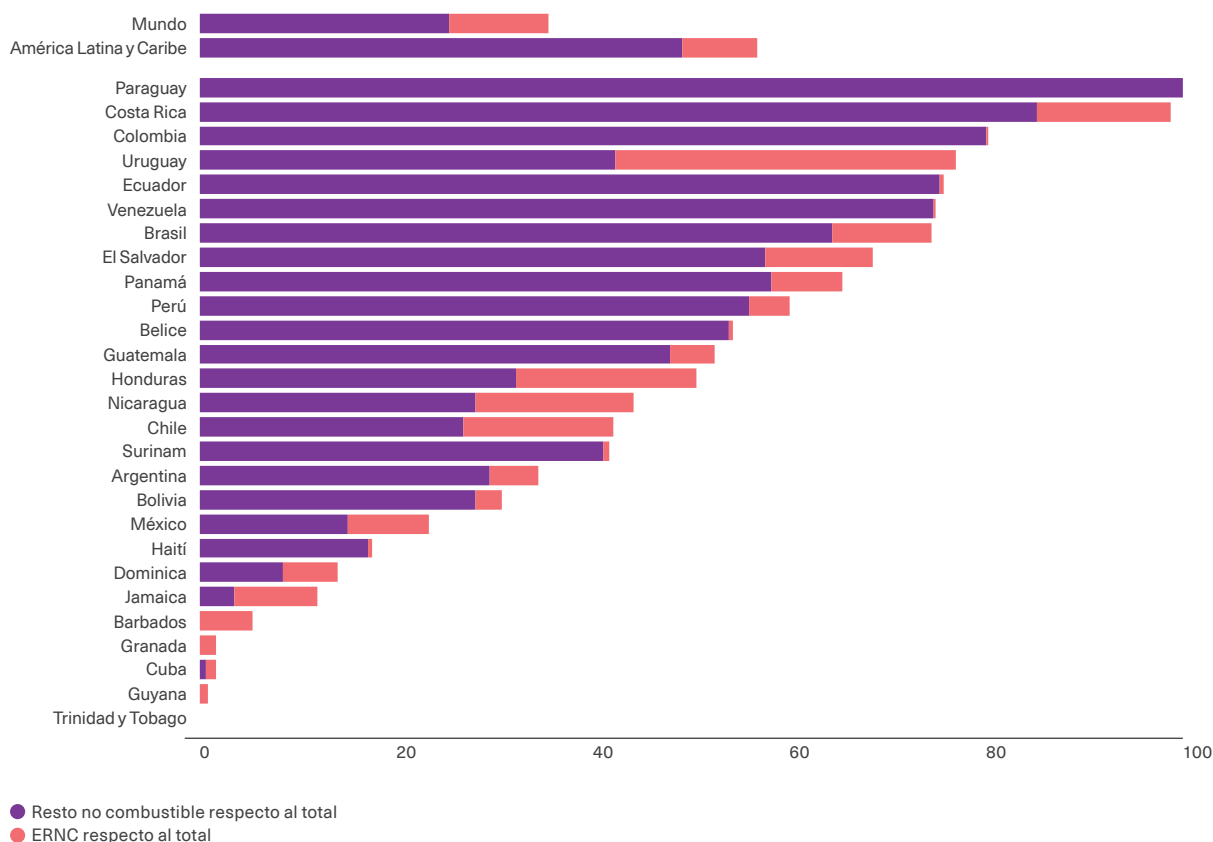
El gráfico 3.2 muestra la proporción de generación eléctrica no combustible y el porcentaje de esta obtenido con fuentes renovables no convencionales (ERNC), que incluyen la solar y la eólica. En estas dimensiones se evidencian avances dispares a través de las subregiones, puesto que los países insulares del Caribe muestran escasa participación de la generación no combustible, alcanzando un máximo del 14 % en República Dominicana. En Sudamérica se observa un grupo de países de avance medio, con una participación entre el 30 % y el 40 %, y otro de grado avanzado, con valores del 74 % al 80 %. Paraguay se destaca por contar con generación totalmente de fuente hidráulica, puesto que tiene el 50 % de participación en la presa hidroeléctrica Itaipú —la segunda mayor del mundo en generación anual (solo superada por la presa de las Tres Gargantas, en China)— y otro 50 % en la represa Yacyretá, lo que representa casi el triple del consumo eléctrico de ese país. La mayoría de los países de Mesoamérica muestran valores entre el 44 % y el 68 %, con excepción de México (23 %) y Costa Rica (99 %). Este último sobresale por contar con una gran capacidad de generación hidroeléctrica (cercana a tres cuartos de su consumo), seguida por la geotérmica y eólica (cercana a un cuarto). En la región se destacan, además, cuatro casos por su promoción activa de las ERNC: Uruguay y Chile (discutidos con mayor detalle en el capítulo 4), Honduras y Nicaragua.



Un 57 % de la generación eléctrica en América Latina y el Caribe proviene de fuentes no combustibles y de esa cantidad un quinto es producido con energía solar y eólica

El conjunto de América Latina y el Caribe muestra una participación del 57 % de las fuentes de generación no combustible (OLADE, 2023b), de la que casi un quinto proviene de la solar y eólica. Este registro es significativamente superior al mundial, al que corresponde el 36 % de generación no combustible. La región muestra una participación de fuentes renovables no convencionales en la generación eléctrica del 11 %, un valor similar al global, apuntando a que la ventaja en generación no combustible proviene de esfuerzos previos a la agenda de transición energética actual, habilitada por una gran disponibilidad de recursos hídricos (AIE, 2021f).

Gráfico 3.2
Generación no combustible y ERNC



Nota: El gráfico presenta la proporción de generación eléctrica no combustible, es decir, la proporción de generación no térmica en la producción eléctrica y el porcentaje de esta que se obtiene con fuentes renovables no convencionales (ERNC), incluyendo la solar y eólica. Los valores de "mundo" corresponden al año 2021.

Fuente: Elaboración propia con base en OLADE (2023a) y AIE (2023v).

Eficiencia de los sistemas energéticos

Otra dimensión que las matrices energéticas permiten analizar es la eficiencia asociada a los diversos procesos de transformación, transporte y distribución que atraviesan los productos energéticos desde su fuente primaria hasta los usuarios finales, sean estos los hogares, las empresas o los Estados. Se presentan, a continuación, las pérdidas de energía en el sistema en tres etapas que son de interés para la transición energética, puesto que magnifican las emisiones de GEI: 1) las pérdidas en la producción y transformación de combustibles; 2) las pérdidas en la

generación de electricidad a partir de combustibles, y 3) las pérdidas por autoconsumo de electricidad, transporte y distribución. Estos tres componentes se presentan por país en el gráfico 3.3.

Muchos de los combustibles que se usan para consumo final (o intermedio) atraviesan importantes procesos de transformación. La gasolina, el diésel y el combustible de turbina de aviación, por ejemplo, se obtienen a partir del refinamiento del petróleo, proceso que requiere de un elevado consumo energético.

El etanol es un combustible líquido de origen agropecuario crecientemente usado en el transporte en combinación con la gasolina. Para su elaboración, se requiere de la producción de maíz u otro insumo agrícola, molienda, fermentación y destilación. La producción de carbón vegetal involucra la extracción de madera y su posterior combustión incompleta en condiciones de bajo oxígeno. Estos procesos típicamente precisan del uso de energía y sufren pérdidas en forma de energía rechazada⁷.



Muchos de los combustibles usados atraviesan importantes procesos de transformación que involucran pérdidas

El panel A del gráfico 3.3 muestra que, en el conjunto de la región, se pierde aproximadamente el 13 % del valor energético de los insumos usados en la producción de combustibles de uso final⁸. Al contrastar los países, estas pérdidas muestran grandes diferencias, en parte asociadas a la medida en la que los países procesan internamente los combustibles que consumen y en parte, a la eficiencia con la que se llevan a cabo esos procesos. Los que experimentan menos pérdidas (como Guatemala y Belice) son aquellos que no disponen de capacidad de refinamiento e importan los productos energéticos finales que consumen. Esto se debe a que la pérdida de transformación ocurrió en el país productor de los derivados. En el otro extremo, Venezuela, Colombia, México y Argentina son países con capacidad de refinamiento de petróleo elevada y registran pérdidas de entre el 16 % y el 23 %. Por su parte, Haití (21 %) y Paraguay (17 %) tienen tasas de pérdidas altas en la transformación de combustibles, asociadas a la participación elevada del procesamiento de la biomasa (como la leña y la caña).

El proceso de generación de electricidad a partir de fuentes combustibles involucra transformar primero

la energía química contenida en esos insumos en calor en el momento de su combustión y luego en energía mecánica para mover el generador. Este proceso inevitablemente resulta en pérdidas de energía en forma de calor liberado al entorno. El tipo de generadores térmicos usados, el tipo de combustible, las transformaciones previas que atravesaron los combustibles y el tipo y la antigüedad de las maquinarias determinan la eficiencia de este proceso de transformación. El panel B del gráfico 3.3 muestra las pérdidas totales y desagregadas entre la generación de electricidad específicamente (barras malva y violeta) y la transformación de combustibles usados en la generación (barras moradas). La región muestra pérdidas del 65 %⁹, de las que un estimado de 56 puntos porcentuales corresponden a la generación. En la mayoría de los países de la región, las pérdidas de generación se encuentran entre el 50 % y el 65 %.

La generación, transmisión y distribución de electricidad también usa energía y sufre pérdidas en el transporte que pueden ser elevadas. Estas pérdidas se clasifican en técnicas y no técnicas. Las primeras son consecuencia del propio funcionamiento de los componentes de los sistemas de transmisión y distribución, como la resistencia eléctrica de los cables, transformadores, etc., y los campos magnéticos generados por el flujo de corriente a través de estos componentes. Las segundas responden a consumos eléctricos no facturados, que ocurren por fallas de registros, conexiones informales e ilegales a la red eléctrica y suministros no medidos, como los provistos en algunos barrios populares (Jiménez Mori et al., 2014). Las pérdidas que presenta la región por consumo propio de los centros de generación y por transmisión y distribución se encuentran entre las mayores del mundo, alcanzando en el agregado el 19 % de la generación eléctrica actual. Trinidad y Tobago, Barbados y Granada destacan por mostrar las menores pérdidas dentro de la región, puesto que son iguales o inferiores al 10 %. En el extremo opuesto, está Honduras, con pérdidas elevadas, que alcanzan el 33 % (ver el panel C del gráfico 3.3.).

7 El capítulo 5 los describe con mayor detalle.

8 Las pérdidas de transformación de los combustibles se aproximan por (uno menos) el cociente entre la suma del consumo final de combustibles y combustibles usados en la generación de electricidad, en el numerador, y la suma de la oferta total primaria de combustibles y las importaciones netas de combustibles secundarios, en el denominador. Esto es equivalente a hacer el cociente entre las pérdidas de 3,64 EJ y la oferta primaria de 24,24 EJ mostradas en el cuadro 3.1, aunque el valor resultante en el gráfico y en el cuadro difieren porque en este último el cociente no incluye los combustibles destinados a generación eléctrica. La combinación de combustibles usados en la generación muestra un mayor peso del gas natural, que no atraviesa procesos de transformación relevantes, por lo que presenta menores pérdidas de transformación respecto al total.

9 Resultado de la división entre pérdidas de 4,64 EJ y 7,19 EJ en el cuadro 3.1.



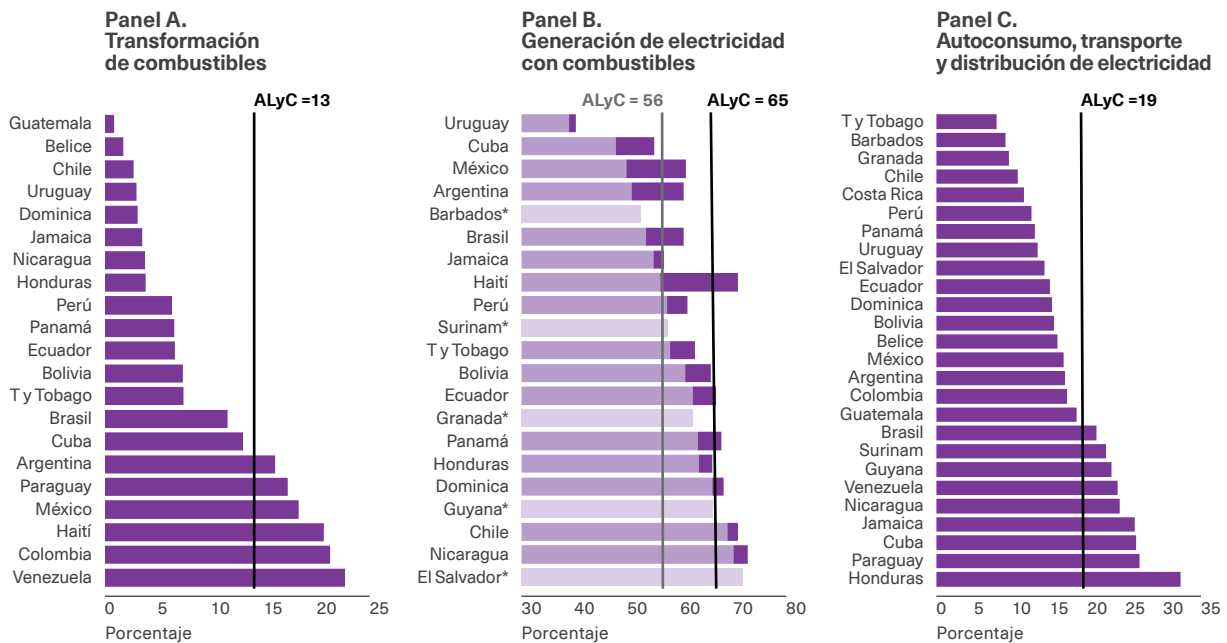
En la mayoría de los países de la región, las pérdidas de generación con combustibles se encuentran entre el 50 % y el 65 %

En resumen, si bien la región dispone de una matriz eléctrica relativamente limpia, es decir, con elevada participación de la generación no combustible (el

57 %, según se observa en el cuadro 3.1 frente al 36 % del promedio mundial¹⁰), la electricidad representa aún una porción menor del consumo energético total (aproximadamente el 20 %, en línea con el promedio mundial). El consumo directo de combustibles es el cuádruple que el de electricidad. Además, los sistemas eléctricos de la región muestran amplias diferencias en eficiencia y pérdidas globales elevadas, con importantes implicancias para las emisiones de GEI.

Gráfico 3.3

Pérdidas en los procesos de transformación, generación y transporte



Nota: El gráfico reporta la proporción de pérdidas de insumos energéticos en tres etapas: durante la transformación de los combustibles (panel A), durante el proceso de generación con combustibles (panel B) y durante el transporte y distribución de la electricidad (panel C). Los valores se presentan para los países de ALyC con información disponible. Por limitaciones o inconsistencias en los datos de origen, se excluyen Barbados, Costa Rica, El Salvador, Guyana, Granada y Surinam en el panel A; Belice, Colombia, Costa Rica, Guatemala y Venezuela en el panel B; y Haití en el panel C. El asterisco indica que no es posible atribuir las pérdidas totales entre transformación de combustibles y generación puesto que toma como insumo la información del panel A.

Fuente: Elaboración propia con base en OLADE (2023b).

10 El cálculo se basa en datos de AIE (2023x, tabla A3.a).

Intensidad de las emisiones de energía usada según la fuente primaria

La quema de combustibles para satisfacer las necesidades energéticas contribuye al calentamiento global principalmente por las emisiones de CO₂. Los distintos combustibles usados tienen impactos dispares sobre el calentamiento debido a que tienen diferente factor de emisiones. Este concepto se refiere a la cantidad de CO₂ que se emite en promedio por cada unidad del insumo energético que se quema.

Por otro lado, el consumo de energía también trae aparejadas emisiones de metano, otro importante contribuyente al cambio climático global. La producción de petróleo, gas y carbón resultan en emisiones de metano en grado variable. Estas emisiones pueden darse, en primer lugar, por las explotaciones petroleras donde no se aprovecha el gas natural para fines comerciales y, en segundo lugar, por emisiones fugitivas, es decir, por pérdidas (fugas accidentales y liberaciones deliberadas) en la producción y transporte del petróleo y del gas¹¹. El recuadro 3.1 describe los principales gases de efecto invernadero, incluyendo el impacto sustancial que conllevan las emisiones de metano en el calentamiento global.

La matriz energética de América Latina y el Caribe presentada anteriormente muestra que el consumo energético de la región es inferior al valor de los insumos energéticos. Estas diferencias entre los insumos y lo que llega para usos finales tienen grandes implicancias para la consideración del impacto de cada recurso energético consumido sobre el calentamiento global: a las emisiones directas que resultan del uso final de combustibles se suman las correspondientes a pérdidas o usos de energía que ocurren en los procesos, desde los insumos energéticos hasta los productos de uso final. También se agregan aquellas correspondientes a las emisiones de metano por el no aprovechamiento del gas natural o las emisiones fugitivas. Estas se atribuyen, en última instancia, a los diversos productos energéticos que se obtienen en una economía.



Las pérdidas de energía durante los procesos de transformación y las emisiones fugitivas tienen grandes implicancias para las emisiones de la energía que se

La incidencia de las emisiones directas, las emisiones por pérdidas de eficiencia en los procesos de producción, transformación y transporte de combustibles, y las asociadas al metano varían de acuerdo con la composición de los insumos energéticos que se consumen, la eficiencia de los procesos y el metano liberado o fugitivo.

El cuadro 3.2 presenta los factores de emisión para los productos energéticos combustibles de consumo final en el conjunto de países de la región. La columna (a) presenta los factores de emisión en el momento de la combustión, reportados por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) para el uso en los inventarios de emisiones de GEI. La columna (b) muestra el factor aumentado por las pérdidas de eficiencia de los procesos de producción, transformación y transporte. La columna (c) representa el factor con la adición de las emisiones fugitivas de metano de cada país atribuidas a la producción de energía de cada fuente. La metodología de cálculo adoptada se detalla en el apéndice (disponible en línea).

Al considerar las emisiones directas, el gas natural se destaca por tener el factor de emisiones más bajo entre todos los combustibles, de 56 tCO₂/TJ; ese valor equivale a la mitad del correspondiente al carbón vegetal y es un 22 % inferior al del gasóleo. En el otro extremo, el carbón vegetal es el producto energético con mayores emisiones resultantes de la combustión por unidad de energía, estimadas en 112 tCO₂/TJ, con lo que supera incluso las vinculadas al carbón mineral en un 18 %. Los combustibles líquidos tienen asociadas intensidades de emisiones intermedias, entre 69 tCO₂e/TJ y 77 tCO₂e/TJ.

11 El metano también se produce en la fermentación de materia orgánica en los reservorios de agua, por lo que afecta igualmente a las presas construidas para la generación hidroeléctrica.

Cuadro 3.2

Factores de emisión directa, con pérdidas de transformación y de producción (tCO₂e/TJ)

Fuente	Combustión (a)	(a) + ineficiencias (b)	(b) + fugitivas (c)
Gas natural	56	60	74
Carbón mineral	95	96	96
Gas licuado de petróleo	63	75	85
Gasolina	69	83	92
Queroseno y combustible de turbina	72	85	95
Gasóleo	74	88	98
Fueloil	77	92	102
Coque	107	124	125
Carbón vegetal	112	215	-
Biocombustibles	71	84	-

Nota: El cuadro muestra los factores de emisión para ALyC: emisiones directas (tomado de los factores de emisiones por combustión en usos estacionarios del IPCC, columna a); emisiones amplificadas por pérdidas e ineficiencias en los procesos de producción, transformación y transporte de estos combustibles (columna b); y emisiones globales, considerando las emisiones fugitivas que pueden atribuirse a cada combustible (columna c). Los países para los que se dispone de información homogeneizada de emisiones estimadas de metano son Argentina, Bolivia, Brasil, Colombia, Cuba, Ecuador, Guyana, México, Perú, Paraguay, Trinidad y Tobago, Uruguay y Venezuela. Con base en este conjunto de países, se estiman las emisiones fugitivas por unidad de energía final producida y se imputa el resultado al conjunto de la región. Los valores están expresados en toneladas de CO₂ equivalente por terajulio (tCO₂e/TJ).

Fuente: Elaboración propia con base en factores de emisión de IPCC (2006), AIE (2023j) y matrices energéticas de OLADE (2023b).



El gas natural tiene el factor de emisiones directas más bajo entre todos los combustibles, siendo la mitad del correspondiente al carbón vegetal y un 24 % inferior al del gasóleo

El cuadro 3.2 muestra también que considerar adicionalmente las emisiones indirectas, es decir, las emisiones asociadas a las pérdidas y consumos de energía en los procesos de transformación, resulta en un incremento significativo de los factores de emisiones del conjunto de la región (columna b)¹².

La ventaja en intensidad de emisiones del gas natural es aún mayor que la de los otros combustibles bajo esta comparación, ya que resultan un 32 % y un 72 % menores que las correspondientes al gasóleo y al carbón vegetal, respectivamente. Esto ocurre porque las emisiones de los derivados del petróleo aumentan en un 19 % debido a las pérdidas de eficiencia en la transformación, mientras que el factor de emisiones del gas natural lo hace en un 7,5 %, puesto que no atraviesa transformaciones sustanciales¹³.

¹² Sin embargo, este incremento depende de la eficiencia de los sistemas de energía y varía según el país, en línea con los patrones discutidos en el gráfico 3.3.

¹³ Las pérdidas por la transformación de combustibles que incluye la columna b actúan como un multiplicador de las emisiones. Los derivados del petróleo (gasolina, queroseno, gasóleo y fueloil) tienen el mismo multiplicador, resultante de considerar la relación entre insumos y productos de las refinерías y los consumos energéticos de la producción y transformación.

Recuadro 3.1

Las emisiones de las actividades humanas y el impacto del metano

El Reporte de Economía y Desarrollo de 2023 (Brassiolo et al., 2023) discute en profundidad cómo las diversas actividades humanas afectan el clima global a través de la modificación del balance de gases de la atmósfera. En modo esquemático pueden considerarse el dióxido de carbono (CO_2), el metano (CH_4) y otros gases y tres grupos de actividades. Dentro del ciclo del carbono, las acciones humanas que producen emisiones se pueden agrupar en procesos industriales y uso de energía, por un lado, y en uso del suelo, por otro. Para el caso del metano, a estos dos grupos se suma la gestión de desechos como un contribuyente central a las emisiones asociadas a las actividades humanas.

A nivel global, la contribución relativa de los diversos gases al cambio climático en 2019 era de aproximadamente el 75 % para el CO_2 , el 18 % para el metano y el 7 % para otros gases, que incluyen óxido nitroso y gases fluorados (IPCC, 2022). Esta contribución relativa está expresada como unidades equivalentes de CO_2 . Puesto que tanto el poder de captura de calor (*radiative forcing*) como la duración en la atmósfera varían entre los distintos gases, se requiere convertir las emisiones de cada gas a impacto en el calentamiento global, considerando un plazo y una tasa de descuento temporal determinados.

Los usos energéticos implican emisiones de CO_2 cuando se queman compuestos que contienen carbono, los cuales incluyen a todos los productos de origen fósil y los combustibles de origen animal o vegetal.

Además, las fuentes de energía también tienen asociadas cuantiosas emisiones de metano. En la producción y transporte de petróleo, gas natural (metano) y carbón mineral, se libera metano por causas accidentales (emisiones fugitivas) o deliberadas (venteo o quema *in situ*) cuando no se aprovecha el gas natural para fines comerciales. La combustión incompleta y en condiciones de humedad de biomasa para fines energéticos resulta en la producción y liberación de metano. Finalmente, la introducción de embalses de agua para la generación hidroeléctrica puede incrementar las emisiones de metano y carbono globales de la cuenca hídrica afectada.

Aproximadamente un 60 % de las emisiones anuales de metano están relacionadas con la acción del hombre. El uso de energía y su producción son responsables de más de un tercio de esas emisiones, en su gran mayoría vinculadas a los combustibles fósiles (93 %), mientras que las restantes están asociadas a los biocombustibles (7 % al etanol, el biodiésel y el biogás) (AIE, 2023j).

Finalmente, la columna (c) del cuadro presenta las emisiones totales por producto energético que surgen de considerar las emisiones directas e indirectas e incorporar las emisiones de metano fugitivas que se atribuyen a ese combustible. En el conjunto de países para los que se dispone de estimaciones de emisiones fugitivas, estas representan 9,6 $\text{tCO}_2\text{e/TJ}$ adicionales en el caso de derivados del petróleo, 13,2 $\text{tCO}_2\text{e/TJ}$ en el del gas natural y cerca de 1 $\text{tCO}_2\text{e/TJ}$ en el del carbón. Al tener en cuenta estas emisiones fugitivas, se

reduce la ventaja en emisiones del gas natural respecto a otros combustibles, aunque incluso así resultan un 25 % inferiores a las correspondientes al gasóleo¹⁴. El impacto de las emisiones fugitivas en la región es muy significativo para el caso del petróleo y sus derivados y del gas natural, mientras que resulta menor para el carbón mineral y sus derivados. Como se discute en el capítulo 5, la reducción de las emisiones fugitivas reviste una importancia central para la reducción de emisiones en el corto y mediano plazo.

14 Las emisiones fugitivas que incluye la columna c son resultado de prorratear las emisiones fugitivas estimadas por la AIE, correspondientes al petróleo, el carbón y el gas, entre el total de combustibles finales producidos.

Emisiones asociadas a la generación eléctrica

Una porción significativa de la electricidad de la mayoría de los países de la región se genera a través de centrales termoeléctricas que usan insumos combustibles y, por lo tanto, resultan en emisiones de GEI. La intensidad de emisiones promedio de la electricidad de cada país puede calcularse de acuerdo con la combinación de insumos usados, la eficiencia de los procesos de transformación y transporte y las emisiones de metano asociadas a la producción de los insumos (petróleo o gas natural).



La intensidad de emisiones de la electricidad depende de la combinación de insumos usados, la eficiencia de los procesos que atraviesan y sus emisiones fugitivas

El gráfico 3.4 muestra la intensidad de emisiones de la unidad de electricidad promedio consumida según el país. En él se distinguen las emisiones directas (barras moradas) —considerando la combinación de insumos combustibles usados y su factor de emisión directa (columna a del cuadro 3.2)— en relación con la generación total; las pérdidas y usos de energía de los procesos de producción, transformación y transporte de combustibles (barra violeta y columna b del cuadro 3.2); las emisiones fugitivas atribuidas a esos combustibles (barra azules y columna c del cuadro 3.2), y finalmente, las pérdidas por el autoconsumo, el transporte y la distribución de electricidad (barras rosadas).

En el agregado, las emisiones directas de la unidad de electricidad promedio de la región alcanzan a 76,2 tCO₂e/TJ. Dar cuenta de las pérdidas de transformación de los combustibles requeridos para la generación eleva las emisiones, hasta 93,9 tCO₂e/TJ. Al considerar también las emisiones fugitivas asociadas a la producción de combustibles, las emisiones asociadas a la electricidad registran un incremento

adicional del 14 % respecto de las emisiones directas, alcanzando 104,5 tCO₂e/TJ. Finalmente, considerar las pérdidas por autoconsumo, transmisión y distribución de electricidad lleva a un factor estimado de 128,5 tCO₂e/TJ. El gráfico evidencia grandes diferencias en las emisiones promedio de la electricidad entre los países de la región, atribuibles a la combinación de insumos que usan y a las pérdidas de autoconsumo, transporte y distribución de electricidad, puesto que, para este ejercicio, se fija la eficiencia en la transformación de combustibles y las emisiones fugitivas al promedio regional¹⁵.

Paraguay, Costa Rica y Uruguay (ordenados de menor a mayor) muestran factores de emisión promedio cercanos a cero, reflejando una participación muy baja o nula de generación con combustibles. En el otro extremo, Guyana, Nicaragua y Guatemala muestran emisiones directas por unidad de electricidad entre 190 tCO₂e/TJ y 230 tCO₂e/TJ, que superan los 400 tCO₂e/TJ cuando se incluyen todos los componentes.



Las emisiones de la electricidad aumentan un 23 % cuando se tienen en cuenta las pérdidas de transmisión y distribución

Las emisiones por unidad de energía asociadas a la electricidad en América Latina y el Caribe, considerando todos los conceptos, son 73 % superiores a las asociadas al gas natural (al comparar los 128 tCO₂e/TJ presentados en el gráfico 3.4 con los 74 tCO₂e/TJ del cuadro 3.2). Además, son 39 % mayores que las de la gasolina (alcanzan 92 tCO₂e/TJ, como muestra el cuadro 3.2). Sin embargo, esta comparación requiere una consideración cautelosa del tipo de uso de energía en cuestión.

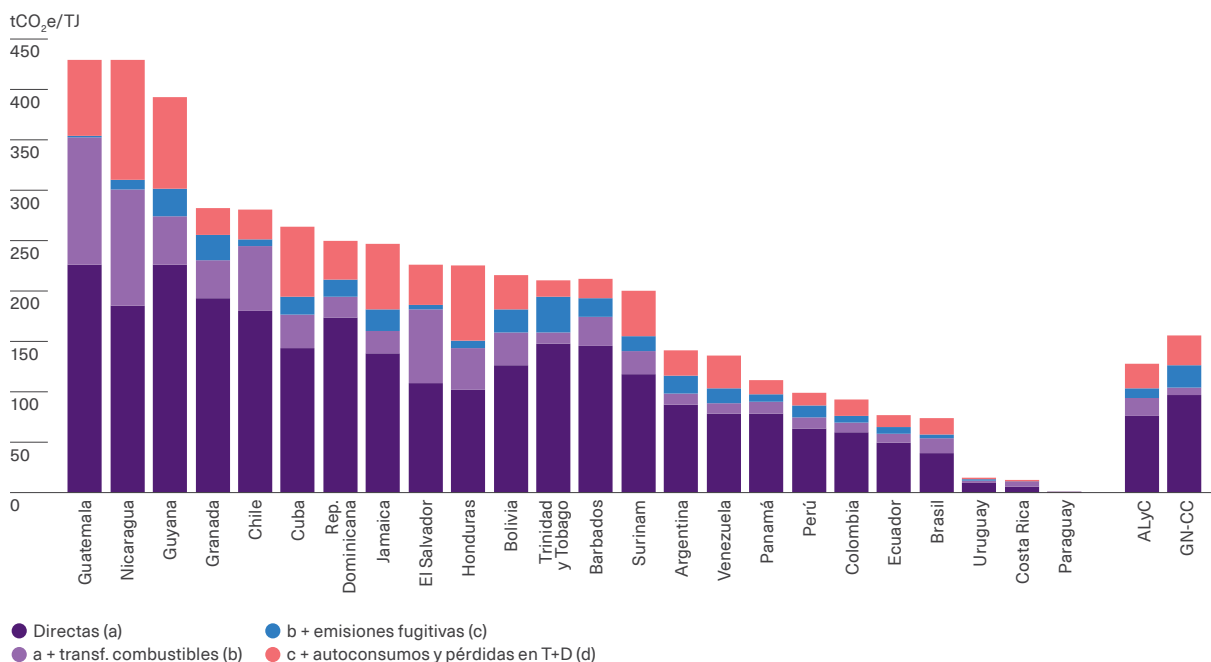
¹⁵ Mientras que algunos países producen todos los insumos de combustibles, incluyendo la extracción de petróleo y gas y el refinamiento, otros importan la totalidad de lo que usan para generar electricidad. Para poner el foco en el sector eléctrico, se usan los mismos factores de emisiones indirectas y se contempla el metano por unidad de energía correspondiente al agregado regional para todos los países.



Cuando la energía es usada para generar calor, como en el caso de algunos procesos industriales o la producción de agua caliente residencial, la comparación directa de las emisiones que implica el uso de electricidad, mostradas en el gráfico 3.4, con las asociadas al uso de los diversos combustibles, presentados en el cuadro 3.4, es aproximadamente válida. A modo de ejemplo, sistemas domésticos comparables para calentar agua muestran relaciones de eficiencia de la

electricidad respecto al gas natural o al gas licuado del petróleo (GLP) entre 1,14 y 1,04 (Keinath y Garimella, 2017). Para este ejemplo, son pocos los países con una matriz eléctrica con emisiones lo suficientemente bajas como para que el reemplazo de una caldera de agua domiciliaria a gas natural o GLP por una eléctrica con tecnología similar resulte en una reducción global de las emisiones¹⁶.

Gráfico 3.4
Emisiones asociadas a la generación eléctrica



Nota: El gráfico muestra la intensidad de emisiones de la unidad de electricidad promedio consumida, medida en toneladas de CO₂ equivalente por terajulio, en los países de ALyC con información disponible. Las barras moradas muestran las emisiones directas en relación con la generación total. Las barras violetas surgen surge de considerar las pérdidas y usos de energía de los procesos de producción, transformación y transporte de combustibles. Las barras azules incluyen las emisiones fugitivas atribuidas a esos combustibles. Finalmente, las barras rosadas dan cuenta de las pérdidas por el autoconsumo, transporte y distribución (T+D) de electricidad. Los detalles del cálculo de cada uno se encuentran en el apéndice disponible en línea. La categoría GN-CC representa las emisiones teóricas que resultarían de producir electricidad con una central de generación de ciclo combinado de gas (usando un parámetro de eficiencia del 58 %, que es el estándar para esta tecnología [AIE, 2020e, p.48]), considerando los factores de emisiones del gas natural correspondientes al agregado de la región. Se excluyen valores extremos para los casos de Belice y Haití.

Fuente: Elaboración propia con base en IPCC (2006), OLADE (2023b) y AIE (2020e).

¹⁶ Estas comparaciones dependen de la eficiencia de los equipamientos usados. En el caso de la climatización del ambiente y el agua residencial, los equipos eléctricos basados en bombas de calor (el tipo de sistema usado en los aires acondicionados para frío o calor) muestran un coeficiente de rendimiento mucho mayor al de calderas tradicionales, aunque requieren una mayor inversión inicial y aún no se encuentran disponibles en todos los mercados.

En cambio, para usos relacionados con fuerza motriz, los combustibles requieren de una conversión energética desde calor a movimiento que está sujeta a grandes pérdidas de eficiencia. Por ejemplo, el factor de eficiencia de los motores de combustión interna usados en automóviles oscila entre el 20 % y el 30 %, mientras que el factor de eficiencia para motores eléctricos se ubica entre el 80 % y el 90 % (Pannone et al., 2017). Entonces, tomando una relación entre la eficiencia de los motores eléctricos del 90 % y de los motores de combustión interna del 30 %, reemplazar el uso de combustible por electricidad resultará en una reducción de las emisiones siempre que el factor de emisiones de la electricidad sea menos del triple que el del combustible usado, lo que ocurre en la mayoría de los países de la región.

En resumen, mientras que la generación eléctrica no sea 100 % verde, la electrificación de los usos traerá reducciones en emisiones, pero estas no serán homogéneas e incluso podrían producirse aumentos según el tipo de uso y la eficiencia de los equipos empleados. Por este motivo, resulta clave

que los avances en la electrificación del consumo vayan acompañados de incrementos en la capacidad de generación limpia¹⁷.

Por último, la última barra del gráfico 3.4 (GN -CC) representa las emisiones teóricas que resultarían de generar electricidad con una central de ciclo combinado de gas —usando un parámetro de eficiencia del 58 %, tomado de AIE (2020e)—, y suponiendo factores de emisiones del gas natural del agregado de la región. Esto resultaría en emisiones directas por cada terajulio de electricidad generado de 97 tCO₂ y emisiones totales por terajulio que llega a los consumidores finales de 156 tCO₂e. Esta referencia hipotética apunta a que, en muchos países de la región, la generación promedio tiene un impacto en emisiones mayor a la que resultaría de usar gas natural con la tecnología más eficiente disponible —ciclo combinado—, lo que es un indicio del potencial rol del gas natural para reducir las emisiones del sector eléctrico. En la práctica, los espacios concretos para esta reducción de emisiones dependen de la posibilidad de sustituir combustibles líquidos o carbón mineral por gas natural.

Espacios de acción en los sistemas energéticos

Los tres pilares estratégicos para la transición energética descritos en este capítulo ofrecen espacio para la adopción de medidas que aborden la crisis ambiental y garanticen un desarrollo sostenible.



La generación de electricidad de bajas emisiones, la electrificación del consumo y la eficiencia del sector energético son estratégicos para la transición energética

El primer pilar se refiere a la generación de electricidad de bajas emisiones. En el capítulo se mostró que la región presenta una matriz eléctrica relativamente limpia, es decir, con una elevada participación de la generación no combustible, que alcanza el 57 %, según se observa en el cuadro 3.1, frente al 36 % a nivel mundial. Sin embargo, la intensidad de emisiones de la electricidad en algunos países continúa siendo elevada, incluso cuando se la compara con el uso directo de vectores combustibles, como el gas natural.

¹⁷ Estimar con mayor precisión el impacto real de electrificar un consumo es una tarea compleja, puesto que depende de cuál es la fuente de generación de electricidad usada para satisfacer ese consumo. Cuando aumenta la demanda al sector eléctrico, en lo inmediato las emisiones de esa electricidad corresponden a la central que brinda ese incremento en la generación eléctrica. Cuando se trata del horario de mayor consumo, en general, la central eléctrica que atiende los consumos en el margen será una de base termoeléctrica para períodos de punta, con elevadas emisiones por unidad de energía. Sin embargo, con el tiempo, es esperable que el sector se readecúe para ese nuevo nivel de consumo, incorporando capacidad de generación de menor costo y emisiones.

La promoción de la energía solar y eólica serán claves para reducir las emisiones del sector eléctrico, en particular en países con menos disponibilidad de recursos hídricos, y para abrir el camino a una electrificación del consumo con una reducción de las emisiones. El capítulo 4 describe los instrumentos existentes para la promoción de la energía renovable no convencional y las adaptaciones que requiere el sector eléctrico.

El segundo pilar es el de la electrificación del consumo. Como se ha visto, la electricidad representa aún una porción menor del consumo energético total (aproximadamente el 20 %, en línea con el promedio mundial), mientras que el remanente es atendido por combustibles. Si bien parte de la baja electrificación del consumo responde a la adecuación de los usos de energía con los vectores que los atienden, ya se cuenta con tecnologías competitivas para lograr grandes incrementos en la participación de la electricidad, en particular en el sector residencial y comercial y en el transporte liviano. Este capítulo destaca la importancia de evaluar cuándo resulta conveniente la electrificación del consumo, puesto que las reducciones de emisiones que pueden obtenerse de ella son dispares y pueden incluso ser nulas, dependiendo del tipo de uso y la matriz eléctrica de cada país.

El tercer pilar atañe a la eficiencia del sector energético. En este capítulo se describen las diferentes pérdidas en el sistema, asociadas a los diferentes procesos por los que pasan los insumos energéticos. Los combustibles, que hoy atienden el 80 % del consumo de energía, presentan emisiones elevadas que, en la región, se encuentran magnificadas por sistemas energéticos con pérdidas de eficiencia y emisiones fugitivas. Por otro lado, el sector eléctrico también muestra pérdidas por autoconsumo, transporte y distribución elevadas en la comparación global. Las políticas para mejorar la eficiencia en el uso de insumos, como la eliminación de las emisiones fugitivas y la reducción de las pérdidas de electricidad, son espacios promisorios para la mitigación de emisiones.