

# Energias renovadas

Uma transição energética justa para o desenvolvimento sustentável

Sumário executivo



Título

**Relatório de Economia e Desenvolvimento (RED) 2024**

**Energias renovadas: uma transição energética justa para o desenvolvimento sustentável**

**Sumário executivo**

Depósito Legal: DC2024000760

ISBN: 978-980-422-319-8

**Editor CAF**

Diretoria de Pesquisa Socioeconômica - Gerência de Conhecimento

Diretoria de Comunicação Estratégica

**Design gráfico**

Estudio Bilder / Buenos Aires

**Fotografias**

Imagens de alguns projetos-modelo de transição energética justa na região com investimento da CAF

Parque solar, Deserto de Atacama, Chile ©GCuenca

Parque eólico “Talas de Maciel II”, Cerro Colorado, Uruguay ©CAF

Metrô de Lima (linhas 1-2), Peru ©CAF

Gasoduto “Integración Federal Tío Pujio – La Carlota”, trabalhos complementares do gasoduto Néstor Kirchner, Córdoba, Argentina ©ENARSA

Imagem da criança com lâmpada. Consumo doméstico de energia tradicional. iStock by Getty Images

A versão digital deste livro está no site [scioteca.caf.com](http://scioteca.caf.com)

© CAF-banco de desenvolvimento da América Latina e Caribe- 2024

As ideias e abordagens contidas nesta edição são de responsabilidade exclusiva de seus autores e não comprometem a posição oficial da CAF.

Os termos utilizados e a apresentação dos dados não implicam a expressão de qualquer posição por parte do CAF em relação ao estatuto jurídico de países, territórios, cidades ou regiões ou de suas autoridades, fronteiras ou limites.

Acesso aberto sob a licença Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional (CC-BY-NC-ND 4.0). Para visualizar uma cópia desta licença, acesse <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>



# Parte I

## Desenvolvimento econômico em tempos de transição energética

### Desenvolvimento econômico no século XX e a necessidade de uma nova transição energética

O desenvolvimento econômico alcançado durante o século XX é inegável. Nos últimos 80 anos, o produto per capita mundial quase quintuplicou. Infelizmente, as emissões de gases de efeito estufa (GEE) aumentaram sete vezes devido a esse formidável crescimento da renda per capita e do aumento populacional.



**Nos últimos 80 anos, o produto per capita mundial quase quintuplicou. Infelizmente, as emissões de gases de efeito estufa (GEE) aumentaram sete vezes devido a esse formidável crescimento da renda per capita e do aumento populacional**

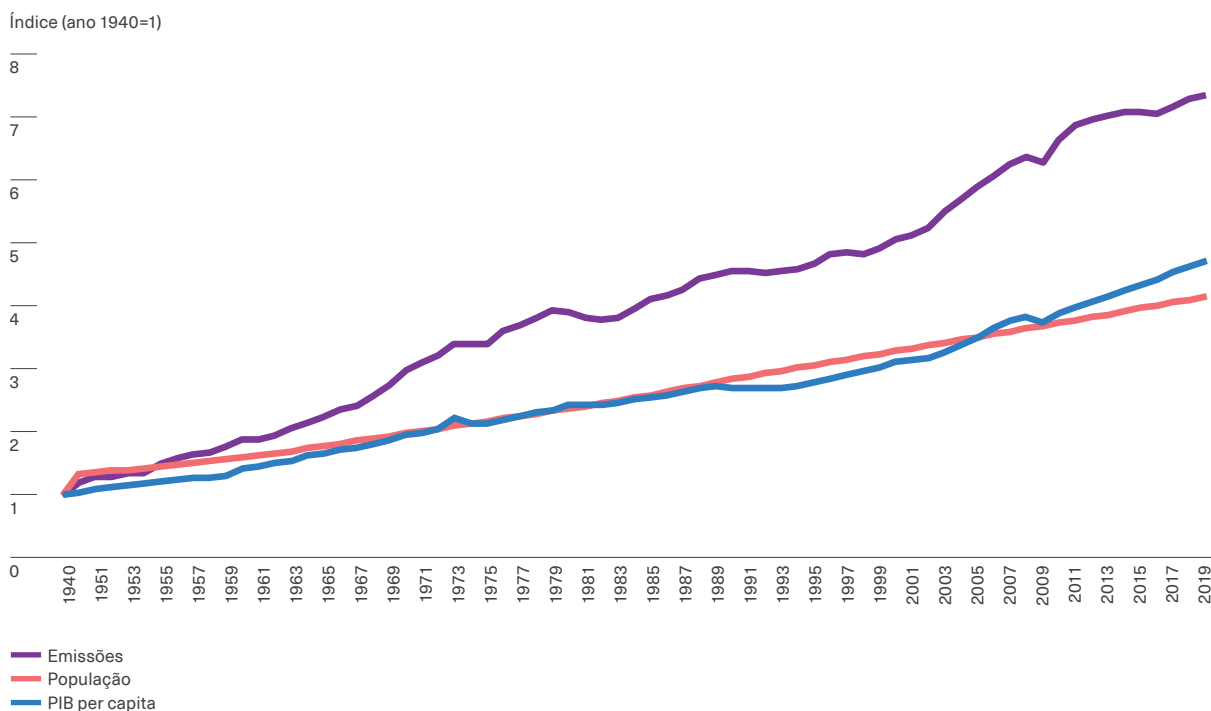
O consumo de energia, principalmente de origem fóssil, está no centro desse fenômeno de aumento das emissões. Desde 1850, a atividade humana causou a emissão de mais de 2.300 gigatoneladas de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), dos quais 68% vieram do uso de energia gerada por fontes fósseis.

Essa dinâmica é insustentável. As evidências científicas apontam para o acúmulo excessivo de GEEs antropogênicos como a causa do aquecimento global e que, nas taxas atuais de emissões, restam pouco mais de 28 anos para limitar o aumento da temperatura a 2 graus Celsius (°C) em comparação com a era pré-industrial ou apenas 9 anos para o limiar de 1,5°C. As metas ambientais globais exigem, portanto, uma transição energética que contribua para a redução das emissões<sup>1</sup>. Nesse contexto, essa transição surge como um imperativo global para enfrentar a crise ambiental e garantir o desenvolvimento sustentável.

<sup>1</sup> O limite de 2°C é considerado pelos cientistas como uma espécie de ponto de não retorno (*tipping point*) a partir do qual existem altos riscos de danos maciços e irreversíveis em escala global. No entanto, os efeitos do aquecimento global já começaram a ser sentidos, como, por exemplo, um aumento na frequência e na gravidade de eventos climáticos extremos, com custos econômicos e sociais significativos.

## Gráfico 1

Evolução da população, do PIB per capita e das emissões globais de CO<sub>2</sub>



Fonte: Elaboração própria com base em Banco Mundial (2023a, 2023c), Bolt e van Zanden (2020) e Friedlingstein et al. (2022).

Certamente, o mundo desenvolvido teve uma responsabilidade maior por essas emissões históricas, contribuindo com 45% delas. Em contrapartida, as da América Latina e do Caribe (ALC) representam apenas 11%. Embora isso seja relevante quando se trata de introduzir elementos de justiça nas responsabilidades ligadas à redução de emissões, não isenta nenhum país ou região de envidar esforços para limitar os GEEs liberados e frear o aumento das temperaturas. Como 75% das emissões atuais são provenientes de países de baixa e média renda, seria insuficiente que apenas o mundo desenvolvido tomasse medidas nesse sentido.



**O mundo desenvolvido teve uma responsabilidade maior por essas emissões históricas, contribuindo com 45% delas. Em contrapartida, as da América Latina e do Caribe (ALC) representam apenas 11%**

Esse cenário urgente levou a um consenso global sobre a necessidade de reduzir consideravelmente as emissões de GEE, principalmente as provenientes do consumo de energia. O Acordo de Paris de 2015 é um marco notável para uma resposta conjunta à crise climática. Sua principal conquista foi a grande adesão, já que 196 países aderiram ao tratado, dos quais 33 são da América Latina e do Caribe.

Conforme o Acordo de Paris, cada país se comprometeu a estabelecer, de acordo com suas circunstâncias e capacidades, metas de mitigação para reduzir as emissões de GEE e metas de adaptação aos impactos das mudanças climáticas. Esses compromissos estão descritos nas contribuições nacionalmente determinadas (NDCs, por sua sigla em inglês).

A revisão das NDCs mais recentes indica que a América Latina e o Caribe concordaram em reduzir suas emissões até 2030 em cerca de 11% em relação a 2020. Essa redução é maior do que a assumida globalmente (menos de 1%), mas menor do que a da América do Norte ou da União Europeia, que é de

37% e 29%, respectivamente (tabela 1). No entanto, esse corte de emissões contempla esforços de mitigação comparáveis entre a América Latina e o Caribe e o mundo desenvolvido, considerando as taxas de crescimento populacional e a redução da diferença do PIB per capita entre as duas regiões.

Especificamente, considerando o crescimento populacional previsto, se o PIB per capita da América Latina e do Caribe crescer 4% ao ano, a região deverá reduzir suas emissões por PIB em cerca de 5,5% ao ano, um valor semelhante ao corte que a União Europeia terá de fazer nessa variável se essa região crescer 2% (5,24%).

**Tabela 1**  
Compromissos de emissões estabelecidos nas NDCs

Região	Número de países <sup>a/</sup>	Varição emissões GEE 2010-2020 (porcentagem)	Emissões GEE 2020 (MtCO <sub>2</sub> e) <sup>b/</sup>	Emissões GEE 2030-CDN (MtCO <sub>2</sub> e) <sup>c/</sup>	Varição emissões GEE 2020-2030 (porcentagem)
África	37	19,2	3.023	3.805	25,9
América do Norte	2	-14,7	6.021	3.766	-37,4
América Latina y el Caribe	21	-15,5	3.293	2.952	-10,8
Ásia (sem China e Índia)	19	19,5	5.598	6.081	8,6
China	1	24,4	12.296	12.804	4,1
Índia	1	22,7	3.167	3.910	23,5
Oceania	6	3,1	703	390	-44,6
União Europeia	27	-20,1	2.957	2.085	-29,5
Resto Europa	19	4,9	2.750	3.927	42,8
<b>Total</b>	<b>133</b>	<b>5,7</b>	<b>39.807</b>	<b>39.720</b>	<b>-0,3</b>

**Notas:** A tabela apresenta uma medida da ambição das NDCs em nível regional. a/ Os valores por região foram obtidos agregando uma amostra de países. b/ O nível de emissões líquidas em 2020 inclui os mesmos setores contemplados na meta declarada por cada país em sua NDC para 2030. c/ As emissões líquidas de GEE para 2030 foram estimadas aplicando a meta de mitigação ao nível de emissões base declarado (no ano de referência ou em um cenário sem mudanças [BAU, por sua sigla em inglês]). São consideradas as emissões dos setores incluídos na meta e, para os países que não especificam os setores, assume-se que a meta abrange todos os setores (incluindo uso da terra, mudança no uso da terra e silvicultura [LULUCF]). O apêndice do capítulo 1 (disponível on-line) fornece mais detalhes sobre a metodologia utilizada nas estimativas e os países incluídos em cada região.

**Fonte:** Elaboração própria com base em Brasiolo et al. (2023), Climate Analytics and New Climate Institute (2023), Climate Watch (2023b, 2023a), Hattori et al. (2022) e Secretaria da CMNUCC (2023).

## Perfil de emissões da região

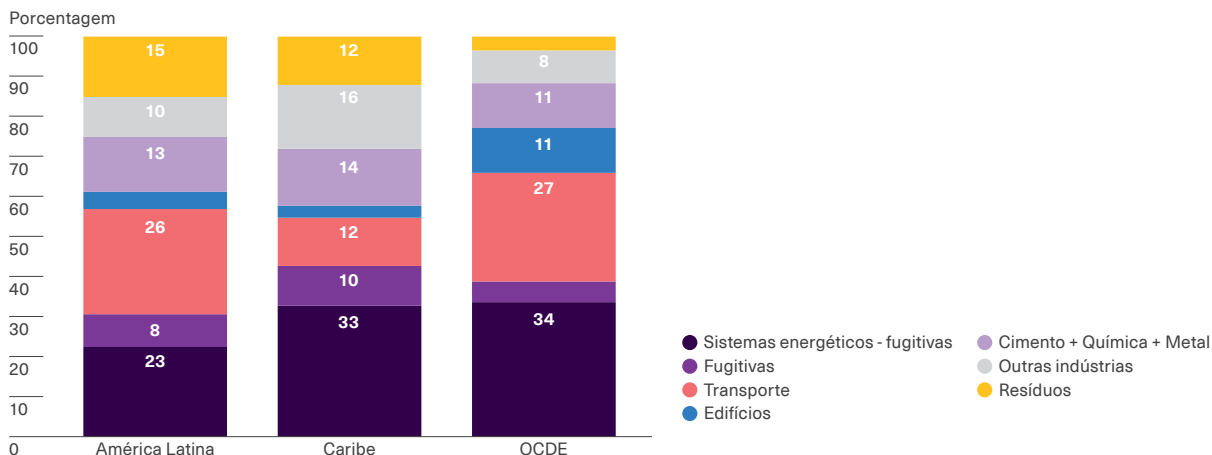
Globalmente, quase 80% das emissões de GEE são provenientes do consumo de energia fóssil e de processos industriais (CFPI), enquanto pouco mais de 20% são provenientes da agricultura, silvicultura e outros usos da terra (ASOUT). Na América Latina, as coisas são diferentes. Em 2019, cerca de 65% das emissões nessa região vieram do setor ASOUT, um valor muito mais significativo do que os 14% no Caribe ou os 8% nos países da Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE)<sup>2</sup>. Isso implica que, em alguns países da região, os esforços de mitigação devem ser realizados simultaneamente na área de energia e no componente ASOUT.

A desagregação das emissões por CFPI, que estão muito mais próximas do consumo de energia, permite

tirar várias conclusões (vide gráfico 2). A primeira é que as emissões relacionadas a edifícios, embora não sejam desprezíveis, são relativamente baixas em todas as regiões, mesmo nos países da OCDE, onde sua importância é maior devido às maiores necessidades de aquecimento. No que diz respeito às emissões fugitivas relacionadas à produção de energia, embora também relativamente modestas, são mais elevadas na região latino-americana do que nos países da OCDE, o que pode indicar que há espaço para redução. Algo semelhante poder ser dito sobre a gestão de resíduos, que representa 15% das emissões de CFPI na América Latina, 12% no Caribe e apenas 3% nos países da OCDE.

### Gráfico 2

Emissões totais de CFPI desagregadas por setor em 2019



**Nota:** Os componentes das emissões por CFPI estão descritos na tabela A.1.3 no apêndice do capítulo 1 (disponível on-line), onde também pode ser consultada a lista de países que compõem cada grupo.

**Fonte:** Elaboração própria com base em Minx et al. (2021).

<sup>2</sup> A importância desse componente vem caindo acentuadamente na região.

Talvez o mais destacável seja o protagonismo dos setores de sistemas de energia<sup>3</sup> (sem contar as emissões fugitivas), transporte e indústria. Na América Latina, o transporte lidera a classificação, sendo responsável por 26% das emissões de CFPI, enquanto a indústria é responsável por quase 24% e os sistemas de energia por quase 23%. A presença relativamente grande de fontes de energia hidrelétrica pode estar

por trás da menor contribuição da energia hidrelétrica para as emissões na América Latina. No Caribe, onde há maior presença de fósseis na matriz elétrica, os sistemas de energia lideram a classificação com 33% das emissões de CFPI, valor semelhante ao da OCDE. No Caribe, as indústrias são responsáveis por 30% e o transporte por 12%.

## Os antigos problemas de desenvolvimento e a necessidade de uma transição justa

Além de seus compromissos ambientais, a região deve enfrentar desafios estruturais de longa data. Dois dos mais óbvios são a lacuna de renda per capita em relação ao mundo desenvolvido, por um lado, e a pobreza e a desigualdade, por outro.

Nas últimas décadas, o PIB per capita da região permaneceu 30% abaixo do dos Estados Unidos. A baixa produção está associada à baixa produtividade e isso, por sua vez, está ligado a um excesso de empresas pequenas e informais com baixo capital físico, humano e organizacional. Que implicações isso tem para a transição energética?

Talvez o mais evidente seja que a região precisa alcançar um crescimento econômico superior ao dos países desenvolvidos para reduzir a diferença de renda. Isso, juntamente com o crescimento populacional, exerce pressão sobre os esforços de mitigação para atingir uma determinada meta de emissões. Os ganhos de produtividade são a chave para alcançar esse crescimento, mas também podem levar a reduções de emissões. Por um lado, a maior produtividade das empresas se traduz em maior produto por unidade de energia, reduzindo o impacto ambiental do crescimento. Por outro lado, as evidências sugerem que, em nível de empresa, a produtividade está positivamente correlacionada com os níveis de eficiência energética, abrindo a possibilidade de políticas que melhorem

a alocação de recursos entre as empresas para aumentar a produtividade e o produto da economia, ao mesmo tempo em que reduzem a intensidade energética e as emissões.



**Além de seus compromissos ambientais, a região deve enfrentar desafios estruturais de longa data: reduzir a diferença de renda com o mundo desenvolvido e reduzir a pobreza e a desigualdade**

Por outro lado, a transição energética exige processos de transformação das empresas da região, o que requer capacidades internas que podem não estar presentes em muitas delas, bem como um bom ambiente de negócios.

Os países da América Latina e do Caribe não só têm uma renda per capita relativamente baixa, mas também uma distribuição de renda muito desigual. De fato, a região está entre as mais desiguais do mundo e ainda apresenta elevados níveis de pobreza. Em média, 1 em cada 3 pessoas na América Latina é pobre e 12 em cada 100 vivem em extrema pobreza (CEPAL, 2022).

<sup>3</sup> As emissões dos sistemas de energia incluem normalmente emissões de eletricidade e aquecimento, emissões fugitivas de petróleo e gás, refino de petróleo e outros (vide tabela A.1.3 incluída no apêndice do capítulo 1, disponível on-line). No entanto, o gráfico 2 separa as emissões fugitivas das emissões de energia para destacar sua importância relativa na região.

Os níveis de pobreza e vulnerabilidade de setores importantes da população exigem proteção contra as fortes mudanças distributivas que a transição energética pode gerar e são, por si só, um desafio. Além disso, impõem às famílias restrições à adoção de tecnologias limpas ou energeticamente eficientes.

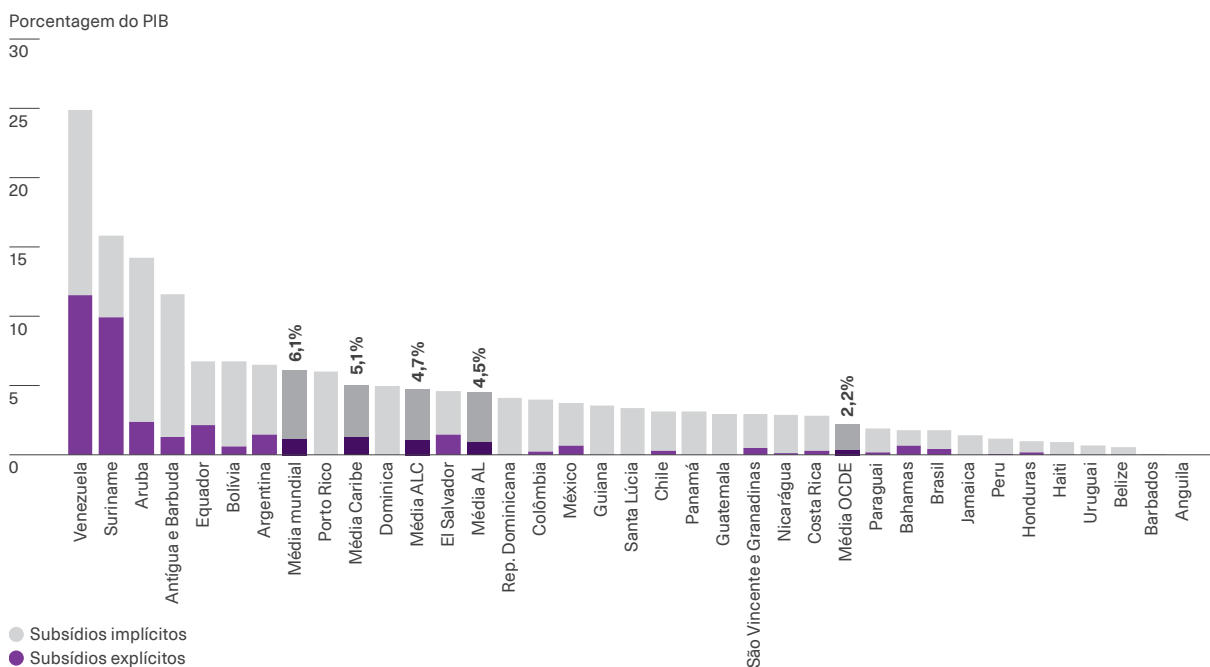
Na área de energia, a região também enfrenta desafios pré-existentes. Em primeiro lugar, ainda há problemas específicos de acesso a fontes de energia de qualidade, apesar do grande progresso que foi feito. Por exemplo, pelo menos 40% da população rural da Colômbia, Honduras, México, Nicarágua, Paraguai e Peru ainda cozinham com lenha. Em segundo lugar, há desafios em termos de confiabilidade do fornecimento de energia. Por exemplo, de acordo com dados da Pesquisas Empresariais do Banco Mundial (WBES,

por sua sigla em inglês), quase 60% das empresas de manufatura relatam ter sofrido duas interrupções de energia por mês, com duração de aproximadamente três horas. Nesse cenário, uma em cada três empresas da região considera os problemas no fornecimento de eletricidade como o principal obstáculo. Esse número é 40% superior ao da região da Europa e Ásia Central.

Por fim, outra característica dos mercados de energia da região que merece destaque é a presença de subsídios à energia. Eles chegam a 4,7% do PIB, um número que é mais do que o dobro do registrado nos países mais desenvolvidos (cerca de 2,2%) (gráfico 3). A existência desses subsídios pode promover uma alta demanda por combustíveis fósseis, com o consequente impacto nas emissões.

### Gráfico 3

Subsídios a combustíveis fósseis como proporção do PIB em países selecionados em 2022



**Nota:** Os subsídios explícitos refletem a cobrança abaixo dos custos de fornecimento, enquanto os subsídios implícitos adicionam a cobrança abaixo dos custos ambientais, de congestionamento, bem como os impostos sobre o consumo não percebidos

**Fonte:** Elaboração própria a partir de dados do FMI (2021).



Para a região, a transição energética não pode ocorrer sem levar em conta essas realidades. Seu desenvolvimento sustentável certamente implica reduzir as emissões de GEE de origem energético para ter um planeta mais sustentável (justiça entre gerações)

e, ao mesmo tempo, fechar as lacunas de renda per capita existentes com o mundo desenvolvido (justiça entre países) e reduzir as desigualdades sociais e energéticas (justiça entre cidadãos).

## Anatomia do desacoplamento: uma estrutura conceitual

Diferentemente dos países que se desenvolveram no século XX, a América Latina e o Caribe devem alcançar seu desenvolvimento no contexto de uma transição energética global que busca reduzir as emissões de GEE.

A história recente dos países desenvolvidos sugere que é viável alcançar o crescimento da produção per capita e a redução de emissões, um termo conhecido como desacoplamento. Entre 2000 e 2019, os países da OCDE alcançaram, em média, um crescimento do PIB per capita de 1,1% e uma redução nas emissões ligadas ao consumo de energia fóssil e aos processos industriais (CFPI) de 0,6%.

Para entender a chave para alcançar essa dissociação, é útil partir da identidade segundo a qual as emissões de um país podem ser expressas como o produto de três termos: emissões por unidade de produto, PIB per capita e população.

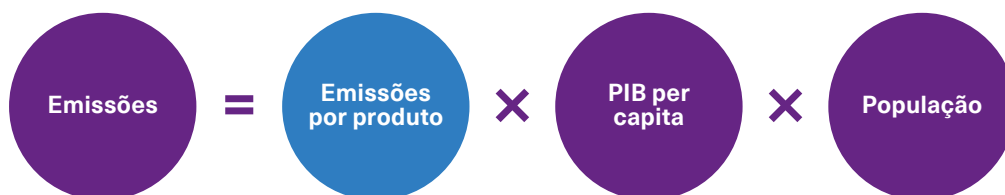
### ● ● A história recente dos países desenvolvidos sugere que é viável alcançar o crescimento da produção per capita e as reduções de emissões

Para que o desacoplamento ocorra, as emissões por unidade de produto devem cair o suficiente para mais do que compensar o crescimento da população e do produto per capita. Em outras palavras, quanto mais as emissões por unidade de produto caírem, menor será o impacto do crescimento econômico e populacional em termos de emissões de GEE.

Ao comparar as emissões de CFPI por unidade de produto, observa-se que há diferenças entre a região e o mundo desenvolvido. Em 2019, essas emissões foram 2,06 vezes mais na América Latina e até 2,25 vezes mais no Caribe do que nos países da OCDE (gráfico 4).

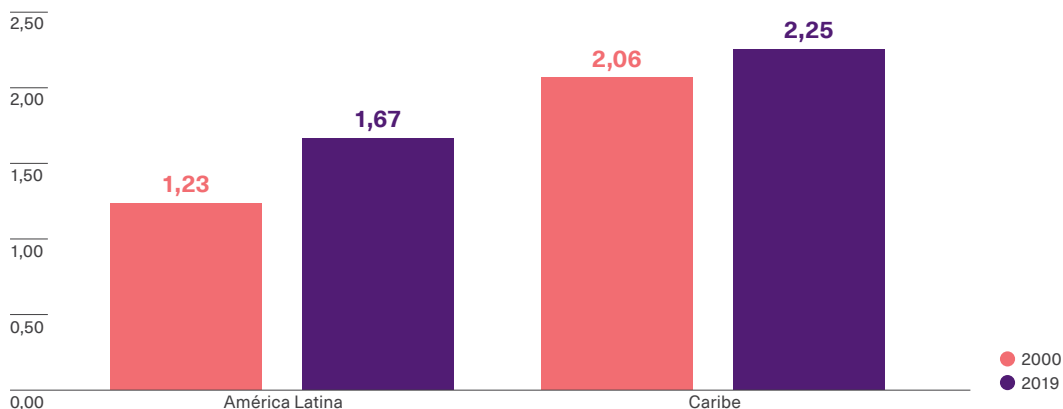
### Figura 1

Fórmula para contabilizar as emissões e determinar o desacoplamento



#### Gráfico 4

Emissões de CFPI por unidade de produto em relação ao valor da OCDE em 2000 e 2019



Fonte: Elaboração própria com base em Minx et al. (2021) e Banco Mundial (2023b).

As emissões por unidade de produto, por sua vez, podem ser apresentadas como a multiplicação de dois fatores bem conhecidos ligados à política energética. O primeiro deles é a intensidade das emissões, dada pelas emissões por unidade de energia, e o segundo é a intensidade energética, definida como o quociente entre as unidades de energia utilizadas e o produto obtido.

Embora seja verdade que a redução das emissões por unidade do PIB possa ser obtida por meio da redução da intensidade das emissões ou da

intensidade energética, as evidências indicam que os países que conseguiram o desacoplamento neste século o fizeram cortando simultaneamente os dois componentes (vide resultados para os países da OCDE na figura 3). A contribuição da queda da intensidade energética parece ter desempenhado um papel mais importante nos últimos 20 anos. No entanto, o termo associado à intensidade das emissões tornou-se cada vez mais importante à medida que o século avançava, o que provavelmente se explica pelo barateamento das fontes de energia renováveis não convencionais (ERNC).

#### Figura 2

Cálculo das emissões por produto

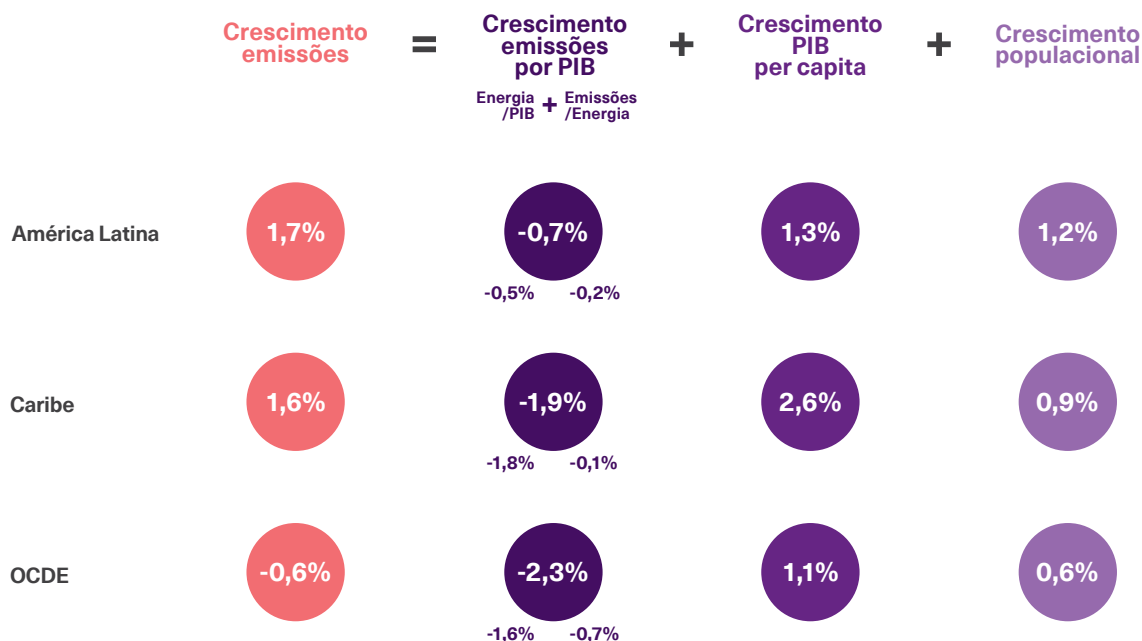


Como foi o desempenho da região em relação a esses fatores-chave? Durante o século XXI, a América Latina reduziu as emissões por unidade de produto em 0,7% ao ano e o Caribe em 1,9%. Essa queda foi alcançada especialmente pela diminuição da intensidade energética, que caiu 0,5% ao ano na América Latina e 1,8% no Caribe<sup>4</sup>. Em ambas as sub-regiões, também foi alcançada uma queda na intensidade das emissões, mas de forma mais modesta. Contudo, a redução das emissões por unidade de produto não foi suficiente para compensar o impacto conjunto do crescimento dos outros dois componentes:

população e PIB per capita; como resultado, as emissões aumentaram 1,7% na América Latina e 1,6% no Caribe (figura 3).

● ●  
**Durante o século XXI, a região da América Latina e do Caribe reduziu as emissões por unidade de produto, mas não o suficiente para compensar o impacto conjunto do crescimento populacional e do PIB per capita**

**Figura 3**  
 Decomposição do crescimento das emissões entre 2000 e 2019



Fonte: Elaboração própria com base na AIE (2022), Banco Mundial (2023b), Minx et al. (2021) e OLADE (2023a).

4 As emissões em relação ao PIB dependem de fatores que transcendem a energia, em particular, a intensidade das emissões da estrutura econômica. Portanto, é possível que a mudança na estrutura econômica afete a trajetória da intensidade energética. Esse tem sido o caso na região. De fato, com base em um exercício de decomposição realizado neste relatório, verifica-se que, se a estrutura econômica não tivesse mudado, a queda na intensidade energética entre 2011 e 2017 teria sido de 20% na América Latina e no Caribe, mais do que o dobro do que ocorreu nesse período. Esse papel da estrutura é consistente com a redução da importância das indústrias do setor primário (normalmente de baixa intensidade energética), combinada com o crescimento de setores como o de transporte, com elevada intensivos energética.

Para crescer vigorosamente e minimizar o impacto desse crescimento em termos de emissões, a região deve reduzir ainda mais a intensidade das emissões e a intensidade energética. Este Relatório de Economia e Desenvolvimento (RED) explora as ações energéticas que permitem alcançar esse objetivo, tanto no

lado da oferta de energia (parte II) quanto no lado da demanda de energia (parte III). O RED também analisa ações transversais, como as tecnologias de captura e armazenamento de carbono, a economia circular e os mercados e impostos de carbono (parte IV).

**Tabela 2**

Estratégia energética para reduzir emissões por unidade de produto

<b>Oferta de energia</b>	Eficiencia de sistemas energéticos (capítulo 3)
	Electrificación verde e integración energética (capítulo 4)
	Promoción de combustibles limpios y uso del gas en la transición (capítulo 5)
<b>Demanda de energía</b>	Industrias: Electrificación y descarbonización de los procesos industriales (capítulo 6)
	Hogares: Eficiencia energética, electrificación y cierre de brechas de acceso a energía de calidad (capítulo 7)
	Transporte: Eficiencia energética, electrificación, promoción del transporte público y activo y uso de combustibles limpios (capítulo 8)
<b>Energéticas transversales (capítulo 10)</b>	Desarrollo de tecnología de captura
	Financiamiento verde
	Mercados de carbono e impuesto al carbono
	Economía circular

# Parte II

## Pilares para uma oferta de energia mais limpa

### Ponto de partida: a matriz energética da região

As emissões ligadas ao consumo de energia dependem de como a energia é produzida, tanto em termos da combinação de insumos para produzi-la quanto da eficiência com que os sistemas de energia transformam esses insumos primários em vetores de energia: eletricidade e combustíveis.

A tabela 3 apresenta a matriz energética agregada da América Latina e do Caribe para a média dos últimos cinco anos disponíveis, entre 2017 e 2021. A margem esquerda mostra os insumos de energia primária e a margem direita mostra os setores de consumo final. No painel superior mostra a submatriz de eletricidade e no painel inferior, a submatriz de uso de combustíveis. O bloco central mostra os valores relativos às perdas de transformação (mais autoconsumo), transmissão e distribuição.

O consumo total de energia na América Latina e no Caribe é de 24,2 exajoules (EJ), dos quais 20% (4,78 EJ) correspondem à geração de eletricidade. Essa taxa de eletrificação é ligeiramente inferior à dos países da OCDE (cerca de 22%) e notavelmente heterogênea entre países, variando de mínimos de 1% e 7% no Haiti e na Guatemala a máximos de 26% e 27% no Panamá e no Suriname, respectivamente (vide painel A do gráfico 5).



**Na região, 57% da eletricidade é produzida a partir de fontes renováveis, valor significativamente superior aos 36% correspondentes ao registro mundial**

A geração de eletricidade é estimada em 5,89 EJ. Cinquenta e sete por cento dessa eletricidade é produzida a partir de fontes renováveis, valor significativamente superior ao registro mundial (36%). Ou seja, a região tem uma matriz elétrica relativamente limpa. As fontes renováveis não convencionais são responsáveis por 11% da geração de eletricidade, valor semelhante ao valor global, o que indica que a vantagem na geração não combustível vem dos recursos hídricos, a partir dos quais é gerada 80% da eletricidade de fontes renováveis. A importância das fontes renováveis na geração de eletricidade é heterogênea entre os países. As ilhas do Caribe apresentam uma baixa participação na geração não combustível, atingindo um máximo de 14% na República Dominicana. Na América do Sul, há um grupo de países com avanço médio, onde a geração não combustível representa entre 30% e 40% do total, e outro de grau avançado, com valores entre 74% e 80%. O Paraguai se destaca porque toda a sua geração é de fonte hidráulica. A maioria dos países de Mesoamérica apresenta valores entre 44% e 68%, com exceção do México (23%) e da Costa Rica (99%) (vide painel B do gráfico 5).

**Tabela 3**

Matriz energética da América Latina e do Caribe em valores médios de 2017-2021

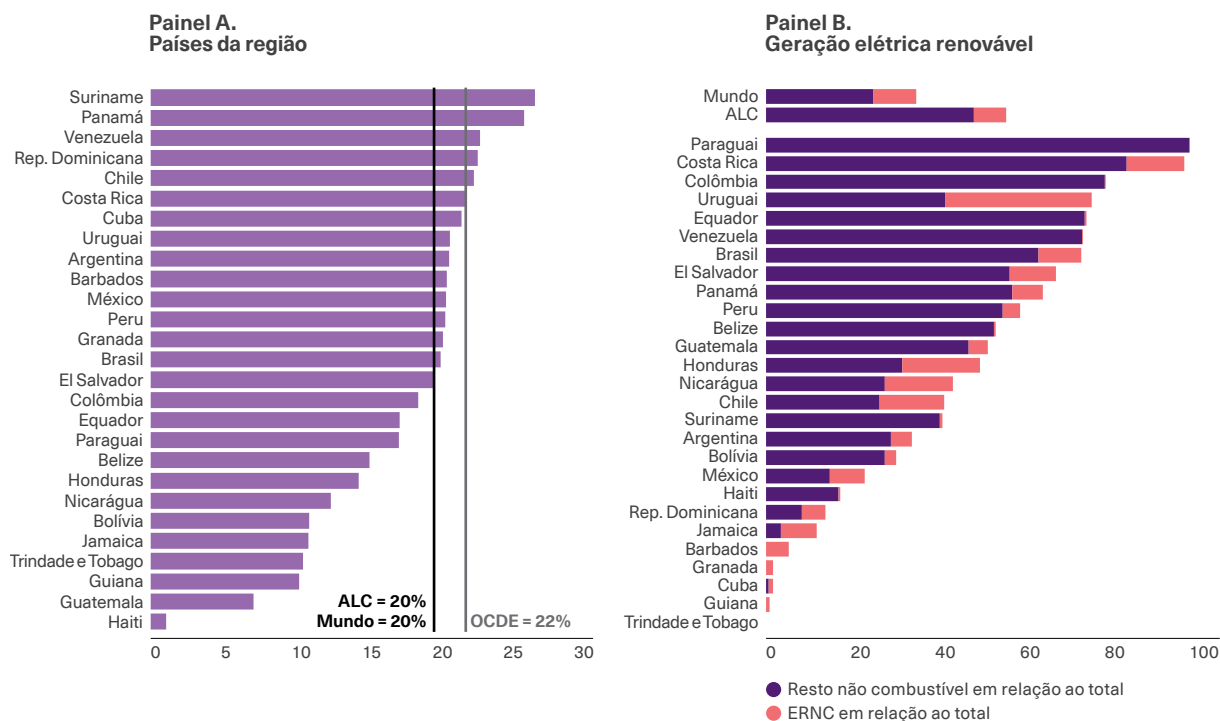
	Oferta primária e importação de energia secundária (a)	Perdas de transformação e autoconsumo (b)	Geração (e importação líquida de eletricidade) (c)	Perdas de transmissão e distribuição (d)	Consumo final (e)	
Geração não combustível	Energia hídrica	2,70				
	Geotérmica	0,19				
	Nuclear	0,39				
	Solar	0,10				Residencial 1,38
	Eólica	0,33				Agricultura, pesca e mineração 0,41
	<b>Subtotal não combustível</b>	<b>3,72</b>	<b>0,38</b>	<b>3,34</b>		Comércio 1,01
Geração combustível	Gás natural	3,92				Transporte 0,02
	Petróleo e derivados	1,25				Indústria 1,89
	Carvão	0,92				Construção 0,07
	Biomassa	1,10				<b>Subtotal consumo de eletricidade 4,78</b>
	<b>Subtotal combustível</b>	<b>7,19</b>		<b>2,55</b>		
	<b>Importações líquidas</b>	<b>0,00</b>		<b>0,00</b>		
<b>Subtotal para geração de eletricidade</b>		<b>10,91</b>	<b>4,64</b>	<b>5,89</b>	<b>1,10</b>	<b>Consumo de eletricidade 4,78</b>
Combustíveis uso final	Gás natural	5,91				Residencial 2,90
	Petróleo e derivados	11,91				Agricultura, pesca e mineração 1,04
	Carvão	1,00				Comércio 0,36
	Biomassa	5,36				Transporte 9,34
	Não energético	0,06				Indústria 5,64
						Construção 0,13
						<b>Consumo energético combustíveis 19,41</b>
						<b>Consumo não energético 1,19</b>
<b>Subtotal para combustíveis</b>		<b>24,24</b>	<b>3,64</b>			<b>Consumo de combustíveis 20,60</b>
<b>Total</b>		<b>35,15</b>				<b>Consumo total 25,38</b>

**Nota:** A tabela apresenta os valores agregados da matriz energética da ALC com os últimos dados disponíveis para o período 2017-2021. A matriz tem como valores principais os insumos para geração e os combustíveis de uso final (coluna a), geração de eletricidade (coluna c) e consumo total e desagregado por setor e tipo de uso (coluna e). Na área violeta está desagregada (na coluna a) entre "insumos para geração não combustível" e "insumos para geração com combustíveis", que são utilizados para a geração de eletricidade para cada tipo (coluna b). Mais detalhes sobre os cálculos realizados podem ser encontrados no apêndice do capítulo 3 (disponível on-line).

**Fonte:** Elaboração própria com base em dados da OLADE (2023b).

## Gráfico 5

### Taxa de eletrificação e geração renovável



**Nota:** O painel A apresenta a taxa de eletrificação da ALC por país. Isso é calculado agregando o consumo de eletricidade de todos os setores e calculando sua proporção em relação ao consumo total de energia. A taxa de eletrificação para "mundo" corresponde ao valor de 2021, enquanto para a OCDE corresponde ao ano de 2019. O Painel B apresenta a proporção de geração de eletricidade não combustível, ou seja, a proporção de geração não térmica na produção de eletricidade e a porcentagem desta que é obtida a partir de fontes renováveis não convencionais (NCRE), incluindo a solar e a eólica. Os valores para "mundo" nesse painel também correspondem ao ano 2021.

**Fonte:** Elaboração própria com base na AIE (2021a, 2023d) e na OLADE (2023a, 2023b).

O relatório identifica três áreas de ação do lado da oferta para impulsionar a transição energética na região:

1. **Aumentar a taxa de eletrificação e a penetração de fontes renováveis não convencionais (eletrificação verde).** No cenário de compromissos anunciados da AIE, a taxa de eletrificação da região chega a 41% em 2050. Juntamente com essa expansão, haverá um crescimento muito importante na capacidade associada às fontes solar e eólica, nas quais representarão respectivamente 43% e 19% em 2050.

2. **Minimizar o impacto nas emissões associado ao consumo de combustível.** Alguns processos industriais e componentes do setor de transportes não são eletrificáveis com as tecnologias atuais. Por outro lado, a intermitência associada às fontes renováveis não convencionais pode exigir a presença de combustíveis para gerar eletricidade, a fim de proporcionar flexibilidade aos sistemas de eletricidade e garantir a segurança do fornecimento. O problema com os combustíveis atuais, principalmente de origem fóssil, são suas emissões. Portanto, uma segunda linha de ação fundamental será substituir o carvão e o petróleo pelo gás no curto prazo, até o desenvolvimento de combustíveis de baixa emissão, como o hidrogênio verde e os biocombustíveis sustentáveis.

3. **Melhorar a eficiência e o funcionamento dos sistemas de energia.** A tabela 3 indica a presença de perdas no processo de produção, transformação e transporte de vetores energéticos. Como pode ser observado, os 25,4 EJ de energia consumida são produzidos a partir de 35,2 EJ de insumos, chamados de fontes de energia primária<sup>5</sup>. Essas perdas ocorrem em diferentes

processos, que incluem: a) produção de combustíveis, b) geração de eletricidade com combustíveis e c) autoconsumo, transporte e distribuição de eletricidade. Assim, o fortalecimento da eficiência e da operação dos sistemas de energia representa um terceiro pilar fundamental para a obtenção de uma oferta de energia mais limpa.

## Melhorias no sistema de energia

Há uma grande heterogeneidade entre os países em termos de perdas resultantes da transformação de fontes primárias em vetores energéticos. Embora essas perdas nem sempre sejam atribuíveis a problemas de ineficiência, as diferenças entre países podem dar indícios de possíveis áreas de melhoria.



**As perdas de energia durante o processo de transformação de combustíveis em eletricidade são, em média, de 56%, além de outros 19%, em média, na fase de transporte e distribuição**

Começando pelo vetor de eletricidade, o gráfico 6 mostra as perdas durante a transformação de combustíveis em eletricidade (painel A) e durante o seu transporte e a distribuição (painel B). Na fase de geração térmica, essas perdas são, em média, de 56%, mas variam de quase 40% a mais de 70% e podem ter origem no tipo de geradores e combustíveis utilizados, pelas transformações anteriores a que foram submetidos e pelo tipo e idade do maquinário.

Na fase de transporte e distribuição, as perdas são em média de 19%. Nessa dimensão, Barbados, Granada e Trindade e Tobago se destacam por terem os valores mais baixos da região, já que são iguais ou inferiores a 10%. No extremo oposto está Honduras, onde chegam a 33%. Essas perdas estão novamente associadas a diferentes fatores, incluindo consumos não faturados, mas também a perdas técnicas ligadas à operação dos sistemas de distribuição e transmissão<sup>6</sup>.

Com relação aos vetores combustíveis, também foram identificadas perdas significativas, com média de 13% na região. Essas perdas implicam a necessidade de mais insumos fósseis primários por unidade de combustível gerada, o que, juntamente com as emissões de metano ligadas ao processo de produção de combustível, afeta as emissões. O gráfico 7 mostra as emissões associadas aos combustíveis fósseis antes do consumo como uma porcentagem das emissões no momento do uso. Essas últimas incluem as emissões associadas ao uso de energia nas diversas fases da produção de combustíveis primários e sua transformação, além das emissões fugitivas de metano do setor fóssil.

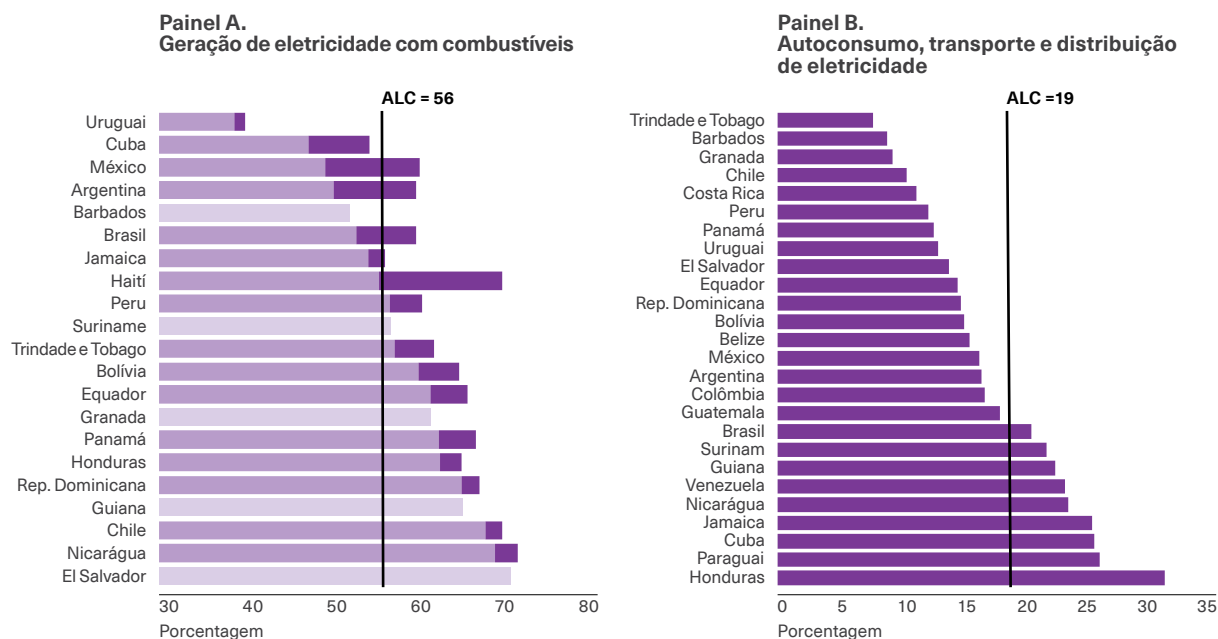
<sup>5</sup> Isso está em linha com o que se observa globalmente, onde o consumo de energia é estimado em 439 EJ a partir de insumos de 624 EJ (AIE, 2023d).

<sup>6</sup> Por exemplo, a própria tensão em que o transporte é realizado, que varia de país para país, influencia as perdas.



## Gráfico 6

Perdas nos processos de geração, transporte e distribuição de eletricidade



**Nota:** O gráfico informa, no painel A, a proporção de perdas de energia durante o processo de geração (barras violeta e malva) e transformação (barra roxa) de combustíveis e, no painel B, as perdas por autoconsumo, transporte e distribuição de energia elétrica.

**Fonte:** Elaboração própria com base na OLADE (2023b).

Assim, para a média dos países mostrados, para cada 100 toneladas de CO<sub>2</sub> (tCO<sub>2</sub>) emitidas no momento do consumo de combustíveis fósseis, mais de 29 tCO<sub>2</sub> adicionais foram liberadas anteriormente em sua produção e transporte. A maior parte dessas emissões foi de metano gerada pela ventilação ou queima de gás natural não utilizado ou por vazamentos nos processos de produção, transformação e transporte.

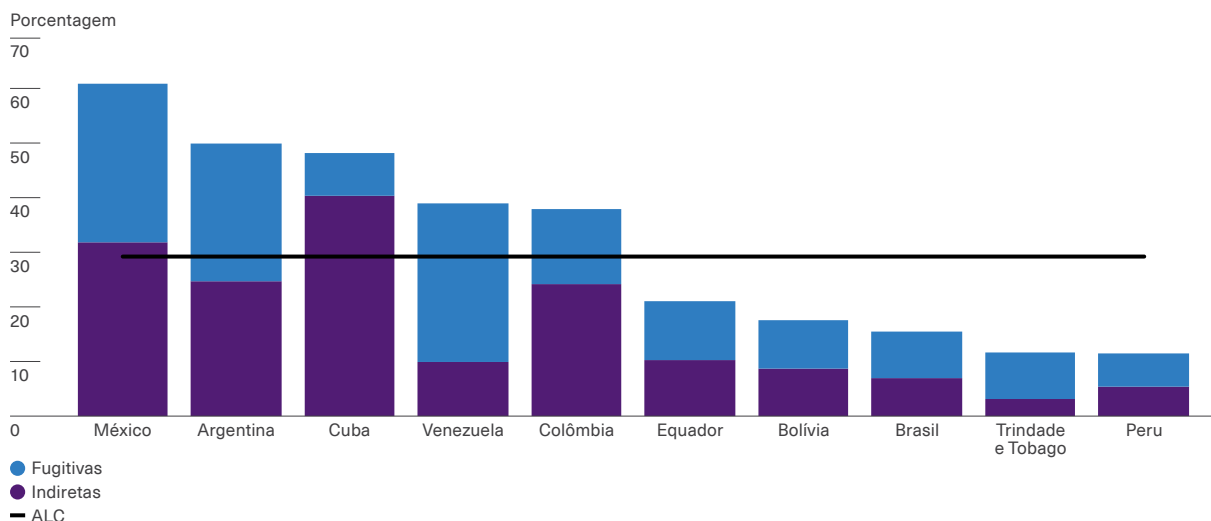
Essas emissões pré-consumo podem ser reduzidas com melhores equipamentos e eletrificação. De acordo com a IEA(2023a), o uso de equipamentos mais eficientes poderia economizar cerca de 30% da energia necessária, com reduções equivalentes nas emissões. No entanto, a eletrificação total permitiria reduções ainda maiores, de cerca de três quartos do que é emitido atualmente na produção de combustível.

A correta disposição final dos depósitos de petróleo e gás e das minas de carvão também é fundamental para mitigar os impactos ambientais da produção de recursos fósseis, especialmente a emissão de metano.

O problema com essas perdas, tanto relacionadas à eletricidade quanto aos combustíveis, é que ampliam as emissões associadas ao consumo de energia (quantificadas na tabela 4).

## Gráfico 7

Emissões da produção e do transporte de combustíveis fósseis em relação as emissões totais por consumo de produtos finais



**Nota:** O gráfico mostra as emissões do setor fóssil provenientes do uso de energia e as emissões fugitivas de metano liberadas na produção, no transporte, no refino e na distribuição de carvão, gás, petróleo e derivados, como uma porcentagem das emissões do consumo dos combustíveis finais produzidos. As emissões do uso de energia são calculadas utilizando fatores de emissão correspondentes a cada combustível. O consumo total refere-se ao consumo doméstico mais o consumo externo. São mostrados os países para os quais estão disponíveis informações homogêneas sobre emissões de metano.

**Fonte:** Elaboração própria com base na OLADE (2023b) e AIE (2023c).

## Tabela 4

Fatores de emissão diretos, com perdas de transformação e produção (tCO<sub>2</sub>/TJ)

Fonte	Combustão (a)	(a) + ineficiências (b)	(b) + fugitivas (c)
Gás natural	56	60	74
Carvão mineral	95	96	96
Gás liquefeito de petróleo	63	75	85
Gasolina	69	83	92
Querosene e combustível de turbina	72	85	95
Diesel	74	88	98
Óleo combustível	77	92	102
Coque	107	124	125
Carvão vegetal	112	215	-
Biocombustíveis	71	84	-

**Nota:** A tabela mostra as emissões diretas (extraídas dos fatores de emissões de combustão estacionária do IPCC, coluna a); emissões amplificadas por perdas e ineficiências nos processos de produção, transformação e transporte desses combustíveis (coluna b); e emissões globais, considerando as emissões fugitivas que podem ser atribuídas a cada combustível (coluna c). Os países para os quais estão disponíveis informações homogêneas sobre as emissões estimadas de metano são Argentina, Bolívia, Brasil, Colômbia, Cuba, Equador, Guiana, México, Peru, Paraguai, Trindade e Tobago, Uruguai e Venezuela. Com base nesse conjunto de países, são estimadas as emissões fugitivas por unidade de energia final produzida e o resultado é imputado ao conjunto da região. Os valores são expressos em toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente por terajoule (tCO<sub>2</sub>e/TJ).

**Fonte:** Elaboração própria com base em fatores de emissão do IPCC (2006), AIE (2023c) e matrizes energéticas da OLADE (2023b).

Duas mensagens importantes emergem dessa tabela. Em primeiro lugar, tanto as ineficiências quanto as emissões fugitivas aumentam significativamente o fator de emissão de cada um dos combustíveis, embora esse impacto varie dependendo do combustível. Em segundo lugar, o gás natural tem os menores impactos de combustão, mas seu fator de emissão aumenta significativamente devido às emissões fugitivas, perdendo parte de sua vantagem. Por exemplo, as emissões da combustão do carvão por unidade de energia fornecida são 70% maiores do que as do gás natural. Quando são consideradas as perdas e as emissões fugitivas, esse número cai para 28%.



## **As ineficiências e as emissões fugitivas aumentam o fator de emissão dos combustíveis, especialmente do gás natural**

Uma análise semelhante se aplica à geração de eletricidade. As perdas por transmissão e distribuição resultam em um aumento de 23% nas emissões associadas ao consumo de eletricidade.

## **Eletrificação verde**

O aumento da demanda de eletricidade apresenta desafios de capacidade para os sistemas de transmissão e distribuição. No entanto, o fato de que essa maior eletrificação deve ser atendida com

uma parcela crescente das ERNC impõe desafios adicionais devido às características específicas dessas fontes.

### **Desafio 1: Operação do sistema elétrico em face da intermitência**

A demanda de eletricidade apresenta grande variabilidade ao longo do tempo. Com a incorporação das ERNC, é introduzida uma incerteza adicional no lado da oferta. Nesse contexto, garantir a continuidade do fornecimento requer mecanismos de apoio, chamados de serviços auxiliares de eletricidade, que podem ser fornecidos por alguns participantes do mercado. Por exemplo, as usinas hidrelétricas com capacidade de armazenamento e as usinas termelétricas a gás natural de ciclo aberto podem aumentar ou diminuir

sua produção rapidamente (isso não é possível com as turbinas a vapor). Os sistemas de armazenamento de baterias também permitem atenuar os efeitos da intermitência dessas fontes. Da mesma forma, a integração energética pode ajudar a enfrentar esses desafios, já que incorpora diferentes fontes de geração (com diferentes imprevisibilidades entre os países), embora atualmente enfrente alguns obstáculos (vide quadro 1).

## Quadro 1

### Obstáculos para a integração energética

A integração energética na região progrediu em diferentes níveis, mas ainda existem barreiras que impedem seu pleno desenvolvimento. Três dessas barreiras se destacam:

- Os países da região consideram a segurança do abastecimento e a autossuficiência uma prioridade, pois a dependência de outros implica riscos estratégicos, especialmente em contextos de fragilidade institucional característicos de vários deles.
- As interconexões exigem a superação de desafios técnicos, como a diferença de frequência entre os países (por exemplo, entre o Brasil e seus vizinhos).
- A falta de simetria e estabilidade regulatórias também desempenha um papel crucial, pois as exigências técnicas dos órgãos de coordenação e a harmonização das políticas energéticas entre nações com diferentes estruturas regulatórias apresentam complexidades adicionais.

### ● ● Alguns sistemas de eletricidade podem precisar manter a capacidade de geração despachável, baseada em combustíveis fósseis, para garantir o fornecimento e proporcionar flexibilidade

Teoricamente, a continuidade do fornecimento poderia ser garantida com fontes não poluentes, incorporando capacidade de reserva suficiente, tendo uma matriz geograficamente diversificada e, em termos de tecnologias de geração (solar fotovoltaica, solar térmica, eólica, hidráulica), utilizando tecnologias de armazenamento (hidráulico, baterias). No entanto, alguns sistemas podem precisar manter a capacidade de geração despachável<sup>7</sup>, baseada em combustíveis fósseis, para garantir o fornecimento e proporcionar flexibilidade ao sistema, especialmente durante a transição. No longo prazo, a manutenção dessas alternativas fósseis pode exigir tecnologias de captura de carbono para compensar o impacto sobre as emissões.

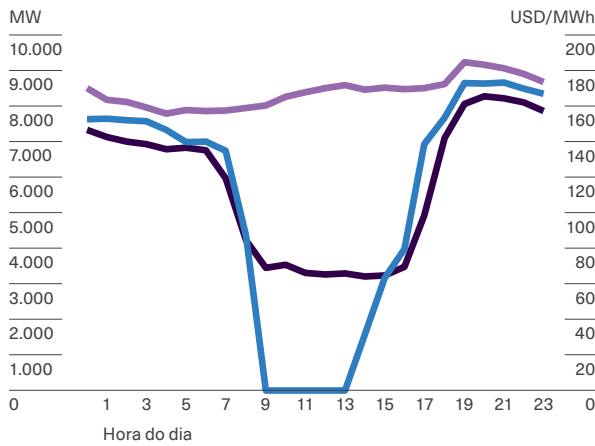
Dois casos ilustrativos são o Chile, um país com uma presença relativamente grande de energia solar, e o Uruguai, com um peso relativo considerável de energia eólica, representados no gráfico 8. A linha violeta nos painéis mostra a demanda por hora em um dia típico, a linha preta a curva de carga líquida (demanda líquida de fontes não despacháveis) e a linha azul o custo marginal. O gráfico mostra que, em sistemas com um alto componente de geração solar (Chile), surge uma curva de pato, um padrão distinto de uma menor carga líquida durante o dia, devido ao fato de que parte da demanda é atendida por essa fonte. Em contrapartida, quando o sistema incorpora uma alta proporção de energia eólica (Uruguai), a curva de carga líquida é uma translação abaixo da curva de demanda, de maior ou menor magnitude, dependendo das condições do vento (Bothwell e Hobbs, 2017; Muñoz e Mills, 2015).

<sup>7</sup> Fontes despacháveis são aquelas em que se pode decidir se a energia será gerada ou fornecida a qualquer momento. A geração térmica e hidrelétrica são dois exemplos. Em contrapartida, a energia solar e a eólica são "não despacháveis", pois a única decisão que um operador pode tomar a esse respeito é se aproveitar ou não o fornecimento que fornecem em determinado momento.

## Gráfico 8

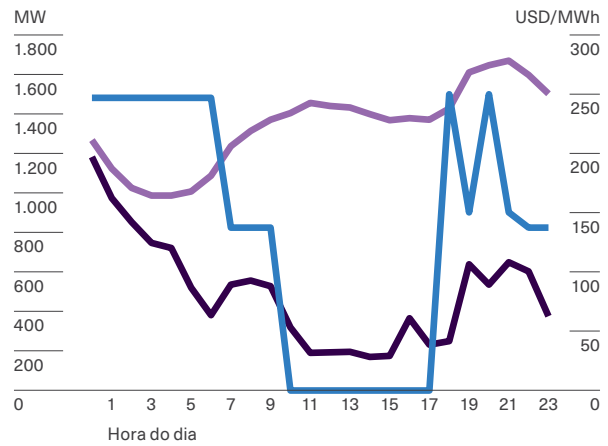
Curvas de carga total e líquida de geração eólica e solar e custo marginal ou preço *spot*

Painel A.  
Chile



— Geração real  
— Geração líquida (sem eólica e solar)  
— Custo marginal programado

Painel B.  
Uruguai



**Nota:** O gráfico apresenta a curva de geração total (carga) e líquida das fontes eólica e solar em megawatts (MW) e o custo marginal ou preço *spot* em dólares por megawatt hora (USD/MWh) em cada hora de um dia típico. Os dados para o Chile correspondem a 7 de abril de 2023 e para o Uruguai, a 18 de abril de 2023 (nesse caso, é informada a geração mais as importações, menos as exportações). Dependendo do dia, os preços horários podem ser positivos ao meio-dia ou zero durante todo o dia.

**Fonte:** Elaboração própria com base em dados do Coordenador Elétrico Nacional (2023), para o Chile, e ADME (2023), para o Uruguai.

O gráfico também mostra que o custo marginal de geração segue esse padrão. Seu valor é zero em determinados momentos do dia, quando a demanda é atendida por fontes renováveis não convencionais e fontes despacháveis de custo marginal zero, como a energia hidrelétrica. Essa dinâmica torna evidente o papel que as baterias podem desempenhar, cuja penetração dependerá do benefício líquido que sua participação traz ao setor para proporcionar flexibilidade em relação a alternativas como a geração de gás natural. A diferença de preço ao longo do dia fornece um indicativo sobre os benefícios do armazenamento<sup>8</sup>. Os modelos existentes para a elaboração de cenários de transição energética no setor de eletricidade preveem

a incorporação de baterias em praticamente todos os países da região (MRC Consultants e PSR, próxima publicação).

As ações do lado da demanda também podem resolver esse problema. Atualmente, os sistemas têm grandes usuários que vendem capacidade de resposta ao sistema e a disponibilizam ao operador. No futuro, a presença de preços dinâmicos poderia refletir a escassez de eletricidade em um determinado momento, incentivando mudanças nos padrões de consumo. Esses avanços fazem parte dos desenvolvimentos do setor para a criação da rede inteligente.

<sup>8</sup> Embora os sinais de preço necessários para tomar decisões de investimento nessa tecnologia sejam de longo prazo, os preços de curto prazo podem dar uma indicação dos benefícios da arbitragem horária. As diferenças de preço observadas nos exemplos mostrados no relatório chegam a US\$ 180/MWh no Chile e a US\$ 250/MWh no Uruguai.

## Desafio 2: Incentivos à geração e estrutura de custos das ERNC

O vento e o sol estão disponíveis gratuitamente, pelo que as tecnologias ERNC operam com custos variáveis próximos de zero, mas com custos fixos relativamente elevados. Essa estrutura de custos das ERNC introduz desafios ao funcionamento do mercado elétrico, especialmente no mercado *spot*<sup>9</sup>, dado que uma forte taxa de penetração poderia levar a que toda a demanda fosse coberta pelas ERNC, o que resultaria em preços *spot* próximos de zero no mercado atacadista.

Obviamente preços próximos de zero não favorecem a entrada de atores para aumentar a capacidade de geração. Daí a importância que a secção dos contratos de fornecimento adquire, uma vez que a forma como a geração de ERNC (e dos serviços associados) é remunerada através de contratos está mais ligada ao custo médio de geração.

Felizmente, a forma como os geradores entraram nos países da América Latina e do Caribe foi variada, mas sempre foi feita na modalidade de licitações acompanhadas de contratos de longo prazo. Por outro lado, não tem havido uma prática generalizada relacionada ao mecanismo, dos quais vários são observados, incluindo contratos de energia (que atribuem o risco da energia gerada ao vendedor), contratos de potência ou capacidade (que também são contratos de venda de energia, mas atribuem o risco da energia recebida ao comprador) e leilões neutros ou de tecnologia específica<sup>10</sup>.



**Especialistas indicam que as tarifas deveriam migrar de sistemas baseados em tarifas volumétricas para esquemas baseados em taxas fixas, tomando cuidado para não comprometer a acessibilidade**

Essa estrutura de custos também tem implicações para as tarifas. Especialistas indicam que deveria haver uma migração dos sistemas baseados em tarifas volumétricas, com taxas variáveis crescentes por intervalos de consumo<sup>11</sup>, para esquemas baseados em taxas fixas<sup>12</sup>. Essa migração deve ser feita de forma a não comprometer a acessibilidade, um problema que poderia surgir quando existirem esquemas uniformes baseados em taxas fixas uniformes.

Em face da penetração das ERNC, outras boas práticas incluem esquemas de preços diferenciados por blocos horário (TOU), agrupamento de clientes de acordo com a capacidade ou carga e tempo de uso e tratamento diferenciado de prosumidores (Faruqui e Tang, 2021).

Esses mecanismos tarifários já começaram a ser utilizados na região desde a implementação da digitalização. No Paraguai e no Peru, por exemplo, foram instalados medidores inteligentes, com leituras automáticas e remotas de luz (ENEL, s.d.; La República, 2023). Por outro lado, o Brasil, a Costa Rica e o Uruguai implementaram programas baseados na abordagem TOU no setor residencial, cuja adoção pelas residências é voluntária, de modo que os consumidores podem escolher entre esse esquema ou uma tarifa fixa (Weiss et al., 2022).

9 A formação de mercados ocorrida nas décadas de 1980 e 1990 na América Latina e no Caribe buscou organizar uma estrutura na qual os geradores realizassem transações com distribuidoras e grandes usuários para o fornecimento de energia elétrica em um mercado atacadista composto por duas seções: contratos de fornecimento e mercado (*spot*), também conhecido como mercado de entrega imediata.

10 Vide Fabra e Montero (2023).

11 Essas tarifas podem ser diferenciadas, como nos casos da Argentina, Bolívia, El Salvador, Peru e Uruguai, ou não diferenciadas, como na Costa Rica, México e Paraguai. Um país que não cobra tarifas fixas é a Colômbia.

12 Vide Navajas (2023).

### Desafio 3: Transmissão e distribuição

A eletrificação aumenta não apenas as necessidades de geração, mas também as necessidades de infraestrutura de transporte e distribuição de eletricidade. Elas devem ser adaptadas aos aspectos qualitativos da geração de ERNC, como a distribuição espacial, a intermitência e a escala.

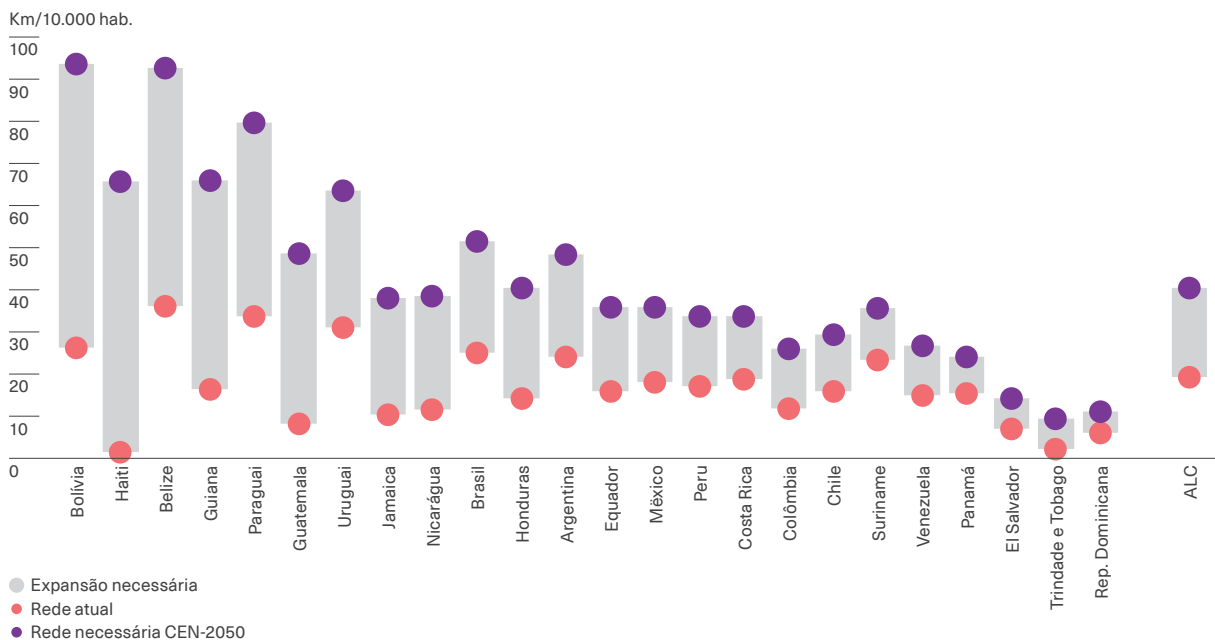
A rede de transmissão da região é de aproximadamente 20 km por 10.000 habitantes e, no cenário de emissões líquidas zero (CEN), precisa mais do que dobrar essa extensão até 2050 (gráfico 9). Nessa área,

destacam-se as necessidades da Bolívia, Belize, Haiti, Guatemala, Guiana e Paraguai, que ultrapassam 80 km/10.000 hab.

● ●  
**A rede de transmissão de eletricidade da região é de aproximadamente 20 km por 10.000 habitantes, o que precisa mais do que dobrar no cenário de emissões líquidas zero até 2050**

#### Gráfico 9

Extensão da rede de transmissão e expansão necessária no cenário CEN para 2050



**Nota:** O gráfico apresenta o comprimento atual das redes de transmissão de energia elétrica em relação à população (em quilômetros por 10.000 habitantes). Os pontos violeta e rosa mostram a extensão atual e necessária no cenário CEN para 2050, respectivamente. A barra cinza representa a expansão necessária para atender aos requisitos de consumo nesse cenário.

**Fonte:** Elaboração própria com base na AIE (2021c) e Ardene et al. (2020).

## Quadro 2

### Geração distribuída e prosumidores

Nos sistemas de distribuição, a geração distribuída, uma produção de baixa escala próxima ao ponto de consumo e principalmente de fontes renováveis, começou a ganhar importância. A geração distribuída viabiliza a figura dos prosumidores, ou seja, usuários que geram energia e a demandam quando não a têm, mas ao mesmo tempo são fornecedores quando a têm em excesso.

A capacidade regional de geração distribuída cresceu enormemente para representar 5,1% da capacidade total de geração existente em 2021. O Brasil tem sido um importante impulsionador desse crescimento. Além disso, a energia solar fotovoltaica representa quase 98% das instalações de geração distribuída na região.

A experiência do Brasil aponta três fatores que contribuíram para seu crescimento: 1) a queda acentuada no preço real dos sistemas de geração fotovoltaica nos últimos cinco anos; 2) o aumento significativo nas tarifas de eletricidade; e 3) a implementação do sistema de compensação de energia que permite ao produtor ou consumidor injetar seus excedentes na rede da distribuidora local.

A penetração da geração distribuída e dos prosumidores exige uma adequação regulatória que defina, entre outras coisas, como os fluxos que eles injetam são remunerados; se os saldos se acumulam em forma monetária ou energética e por quanto tempo; e se são impostas restrições para evitar riscos às redes de distribuição. Essas restrições podem ser quantitativas (painéis com capacidade máxima) ou de qualidade (procedimentos técnicos para a instalação e o uso de painéis).

Quanto à remuneração, são conhecidas duas opções: medição líquida e faturamento líquido. Na medição líquida, é determinada a diferença entre o que é consumido e o que é injetado no sistema por prosumidor. Esse valor líquido é o valor pago pelo usuário, de modo que a injeção é avaliada pelo mesmo preço da compra. No caso do faturamento líquido, a injeção e o consumo tornam-se independentes. A injeção é avaliada pelo preço de mercado (spot) e o consumo pelo preço da tarifa.

Essa expansão implica desafios financeiros e de gestão de licenças e concessões de uso do solo. Por outro lado, a geração de ERNC tem aspectos qualitativos particulares e pode afetar as necessidades de infraestrutura de transporte e distribuição. Os centros de geração solar e eólica atualmente em operação estão, em média, 30% e 60% mais distantes dos pontos de consumo do que a geração a gás natural. Essas tecnologias também apresentam uma escala muito menor do que outras formas de geração, bem como a possibilidade de residências e empresas fornecerem energia ao sistema, tornando-se prosumidores (vide o quadro 2).

A fragmentação dos pontos de injeção de eletricidade, o aumento da distância média entre a geração e os locais de consumo e a presença de prosumidores podem implicar mudanças nas redes de transmissão em termos de extensão, flexibilidade para operação bidirecional e necessidade de pontos de injeção muito mais numerosos.



## Dotação para geração limpa

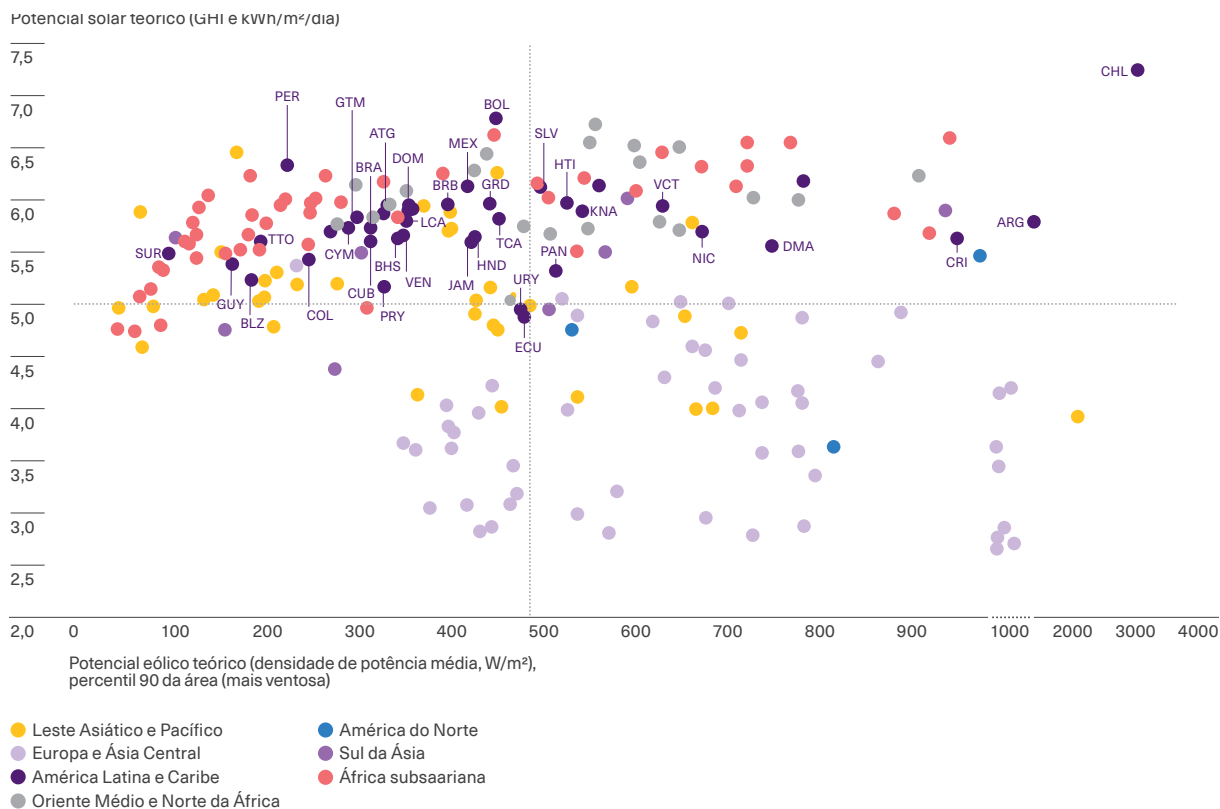
A região desfruta de excelentes condições naturais para enfrentar os desafios da eletrificação verde. Isso inclui recursos hídricos, irradiação solar e exposição ao vento. No entanto, a dotação desses recursos é desigual entre países e regiões.

Atualmente, a capacidade de geração de fonte hidrelétrica da região chega a 199,5 GW, equivalente a 41% da capacidade total em 2021. Porém, esses desenvolvimentos não esgotam o excepcional potencial hidrelétrico da América Latina e do Caribe, estimado em 677 GW pela Organização Latino-Americana de

Energia (OLADE, 2023c). Se viável, a plena utilização do recurso poderia cobrir a geração total de eletricidade esperada para o cenário ENC-2050 em 17 dos 24 países analisados pela OLADE (Alarcón, 2018).

Além disso, quase todos os países têm um bom potencial solar (superando a média mundial) e, em alguns deles, como a Bolívia e especialmente o Chile, é o maior do planeta. Da mesma forma, aproximadamente um terço dos países possui um alto potencial eólico, com destaque para Argentina, Chile e Costa Rica (vide gráfico 10).

**Gráfico 10**  
Potencial teórico em energia eólica e solar



**Nota:** O gráfico mostra o potencial eólico teórico (medido em W/m<sup>2</sup>) e o potencial solar (medido em kWh/m<sup>2</sup>/dia) para o percentil 90 da área mais ventosa e mais irradiada, respectivamente.

**Fonte:** Brassiolo et al. (2023).

# Penetração de combustíveis de baixa emissão

Os cenários mais auspiciosos de transição energética para a América Latina e o Caribe estimam uma meta de taxa de eletrificação de cerca de 50% até 2050. A outra metade do consumo de energia deverá ser atendida principalmente por combustíveis. O problema é que os combustíveis utilizados atualmente são, em sua maioria, de origem fóssil e têm altas emissões de GEE associadas a eles, entre outros impactos ambientais. Portanto, a transição implica a adoção de combustíveis mais limpos.

Há duas alternativas tecnológicas para a obtenção de combustíveis limpos que substituam os

de origem fóssil: a primeira são os combustíveis de origem agropecuária (entre os quais estão os biocombustíveis); e a segunda, pelo hidrogênio e seus derivados.



**Há duas alternativas tecnológicas para a obtenção de combustíveis limpos que substituam os de origem fóssil: a primeira são os combustíveis de origem agropecuária e a segunda, pelo hidrogênio e seus derivados**

## Combustíveis de origem agropecuária e seu papel na transição

Os avanços tecnológicos possibilitaram o desenvolvimento de combustíveis de qualidade a partir da transformação de insumos de origem animal e vegetal. Esses combustíveis agora são utilizados como substitutos e, normalmente combinados com combustíveis equivalentes de origem fóssil, dos quais o biodiesel e o etanol são exemplos importantes.

Embora no momento da combustão os combustíveis agropecuários gerem emissões de CO<sub>2</sub> comparáveis às de seus equivalentes fósseis, o carbono emitido deve ter sido previamente removido da atmosfera pela ação da fotossíntese<sup>13</sup>. Portanto, eles podem desempenhar um papel importante na descarbonização dos usos de energia que requerem combustíveis. No cenário de compromissos anunciados pela AIE, sua importância no fornecimento de energia deve aumentar em 10 pontos percentuais entre 2022 e 2050, até atingir 31%.

Os combustíveis de origem agropecuária têm os desafios associados ao uso da terra e de insumos agrícolas, como fertilizantes, herbicidas e inseticidas. Isso implica, por um lado, emissões de GEE, devido ao aumento da área cultivada que impulsiona o desmatamento e o conteúdo de carbono dos insumos agrícolas e, por outro lado, o aumento dos preços dos alimentos ao competir com sua produção. Algumas condições que reduzem esses desafios são o aumento da produtividade agrícola, o uso de culturas não alimentares, a silvicultura, os resíduos florestais, agropecuários ou resíduos sólidos urbanos que, de outra forma, não seriam utilizados, bem como a produção em terras degradadas inadequadas para a produção de alimentos.

<sup>13</sup> Consequentemente, esses combustíveis seriam considerados neutros em carbono se não fossem utilizados insumos (fertilizantes, herbicidas etc.) ou energia com emissões para a produção agropecuária e se a escala de tempo entre as emissões da combustão e a subsequente captura para a renovação de recursos for curta.

Para promover o desenvolvimento de combustíveis agropecuários, a AIE propõe uma estratégia baseada em três eixos. O primeiro é a adoção de estruturas regulatórias que estabeleçam diretrizes para sua produção com baixo impacto ambiental, que incluam estruturas de certificação de gestão sustentável verificados de forma independente e que abranjam toda a cadeia de suprimentos e produção. O segundo eixo é a adoção de políticas de demanda que busquem obje-

tivos concretos para a participação desses produtos. As políticas que vão nessa direção são o estabelecimento de quantidades mínimas desses produtos nas bombas<sup>14</sup>. O terceiro eixo corresponde a políticas que promovem a inovação, especialmente para combustíveis derivados de resíduos, nomeadamente lenha e papel. As políticas nessa linha incluem medidas como garantias de empréstimos e cotas obrigatórias para o uso de biocombustíveis avançados.

## Hidrogênio e seu papel na transição

O gás hidrogênio (doravante H<sub>2</sub>) de baixa emissão representa uma alternativa de combustível limpo. Suas propriedades físico-químicas lhe conferem grande versatilidade como vetor energético, mas, ao mesmo tempo, tornam-no um vetor de difícil transporte e armazenamento.

Uma virtude ambiental do hidrogênio é que seu uso não envolve emissões de GEE ou poluentes locais. No entanto, sua produção pode acarretar emissões, dependendo do insumo e do processo pelo qual é obtido. Na região, o hidrogênio é atualmente produzido a partir de gás natural (76%) e carvão (quase 23%). Menos de 1% da produção atual de hidrogênio vem de usinas alimentadas por energias renováveis ou de combustíveis fósseis com tecnologias de captura e armazenamento de carbono.

A transição energética exige uma presença significativa de H<sub>2</sub> de baixa ou zero emissão. As alternativas para produzi-lo podem ser agrupadas em três: 1) integração da captura e do armazenamento de carbono com a produção (H<sub>2</sub> azul); 2) produção de hidrogênio por eletrólise da água, com eletricidade gerada a partir de fontes renováveis ou limpas (H<sub>2</sub> verde e amarelo); e 3) uso de insumos de fontes orgânicas sustentáveis, incorporando a captura de carbono (H<sub>2</sub> verde).

O H<sub>2</sub> de baixa emissão pode desempenhar um papel importante no futuro de duas maneiras. A primeira como complemento à intermitência da geração elétrica baseada em ERNC. Os excedentes temporários de geração solar e eólica podem ser utilizados para produzir hidrogênio, armazená-lo e transportá-lo para onde e quando for necessário o seu consumo<sup>15</sup>. A segunda maneira é a substituição de combustíveis fósseis para satisfazer os usos de energia que são mais bem atendidos pela combustão, como ocorre nos processos da indústria siderúrgica, que exigem altas temperaturas, ou no transporte de carga.

Atualmente, a produção de H<sub>2</sub> limpo é pouco competitiva e sua distribuição é extremamente cara (gráfico 11). Conseqüentemente, para que o hidrogênio cumpra os papéis detalhados acima, sua produção deve se tornar mais barata e, acima de tudo, a barreira da dificuldade de transporte e armazenamento resultante de sua baixa densidade de energia por unidade de volume deve ser superada.



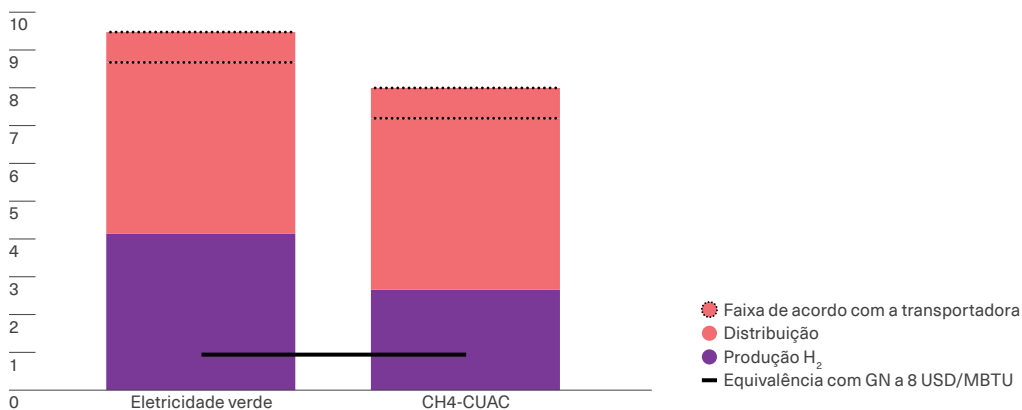
**Para que o hidrogênio substitua os combustíveis fósseis, sua produção deve se tornar mais barata e, acima de tudo, a dificuldade de transporte e armazenamento deve ser superada**

14 A Argentina, por exemplo, já tem um limite mínimo de etanol na gasolina e de biodiesel no diesel de 12% e 5%, respectivamente (Secretaria da Energia, 2022; Sigauado, 2019). O Brasil, além da adoção de cotas mínimas, tem a venda de etanol para o consumidor final e o desenvolvimento pela indústria automotiva de veículos com motores flexíveis (de combustão interna que podem funcionar com gasolina ou álcool).

15 A produção de hidrogênio em parques eólicos ou solares dedicados (fora da rede) possibilita a obtenção desse vetor energético de forma primária.

## Gráfico 11

Custos estimados para a produção, transporte e distribuição de hidrogênio na União Europeia em 2030



**Nota:** O gráfico mostra os custos estimados da produção doméstica (em cor violeta) e da distribuição (cor rosa) de hidrogênio na UE em 2030. Os custos são mostrados em dólares por quilograma (USD/kg) de H<sub>2</sub> para a produção a partir de gás natural com captura, uso e armazenamento de carbono (CUAC) e eletricidade verde, assumindo um custo de gás natural de 8 dólares por milhão de unidades térmicas britânicas (USD/MBTU) e um custo de eletricidade de 47 USD/MWH. O retângulo com borda pontilhada indica a faixa de custos de transporte e distribuição entre as alternativas de transporte de amônia, hidrogênio líquido e hidrogênio líquido orgânico. A linha horizontal preta indica o valor de equivalência de custo do hidrogênio com o gás natural.

**Fonte:** Elaboração própria com base na AIE (2019).

O transporte em larga escala de H<sub>2</sub> é viável por meio de tubulações. De fato, o hidrogênio pode ser injetado nas redes de gás natural em baixas proporções (até 3%), sem dificuldade e sem exigir alterações nas redes ou nos equipamentos atuais, e essa quantidade pode ser aumentada gradualmente, com ajustes nas instalações. Essa estratégia tem a vantagem adicional de poder aumentar a demanda por H<sub>2</sub> e torná-lo mais barato devido às economias de escala. Por sua vez, a realocação das redes de gás natural para o transporte de hidrogênio é uma alternativa promissora e custo-efetiva no longo prazo. Isso requer ajustes na infraestrutura existente, como a introdução de revestimentos internos nos gasodutos, o monitoramento interno das condições dos encanamentos e a adaptação de compressores e válvulas para suportar a maior pressão necessária para o transporte de hidrogênio.

Em relação ao armazenamento, a alternativa de larga escala e de longo prazo é o armazenamento geológico. Os depósitos podem ser cavernas subterrâneas de

sal, campos de petróleo e gás esgotados e cavernas de aquíferos. Atualmente, apenas as cavernas de sal são uma solução comprovada para o armazenamento de hidrogênio sem perdas ou contaminação com impurezas, embora sua disponibilidade geográfica seja limitada. Para armazenamento e transporte em pequena escala, as opções atuais são o armazenamento em tanques de gás hidrogênio na forma de gás comprimido e em tanques de hidrogênio em estado líquido<sup>16</sup>.

A indústria do H<sub>2</sub> de baixa emissão é promissora para a região. Atualmente, há projetos notáveis, como os da Argentina (Hychico na Patagônia), Costa Rica (Astra Rocker) e Chile (Microrred). De fato, este último país tem a ambição de produzir e exportar o H<sub>2</sub> mais competitivo do mundo a partir de eletricidade renovável até 2030, e muitos da América Latina compartilham as condições para desenvolver esse processo. Em alguns deles, como o Brasil, a produção de biocombustível e bioeletricidade também poderia ajudar a produzir e exportar H<sub>2</sub>.

<sup>16</sup> Outras soluções de armazenamento e transporte consistem na integração do hidrogênio em transportadores, como a amônia, uma substância composta de hidrogênio e nitrogênio (NH<sub>3</sub>), ou transportadores orgânicos líquidos.

## Gás como combustível de transição

Um espaço político promissor para a redução das emissões de GEE no curto prazo é a substituição do carvão e dos combustíveis líquidos de petróleo pelo gás natural.

O gás natural é o hidrocarboneto com menos emissões de CO<sub>2</sub> por unidade de energia fornecida (vide tabela 4). Além disso, produz quantidades quase nulas de óxidos de enxofre, óxidos de nitrogênio e partículas finas em suspensão, poluentes locais que têm impactos prejudiciais à saúde.

É possível, ainda, a utilização do gás em equipamentos existentes concebidos para outras fontes fósseis. Por exemplo, no setor de eletricidade é possível modificar centrais de produção termoeleétrica a carvão para funcionarem com gás natural, resultando em despesas de capital até 30% menores do que a instalação de uma nova usina. O uso de gás em veículos também é uma opção possível e já implantada em escala na região.

Se 50% do uso de carvão e combustíveis derivados do petróleo na América Latina e no Caribe fossem substituídos por gás natural, seria obtida uma redução direta equivalente a 6,5% das emissões da região. Para aumentar o papel do gás na descarbonização é fundamental adotar medidas para eliminar as emissões fugitivas que corroem a vantagem que esse produto tem.



**Se 50% do uso de carvão e combustíveis derivados do petróleo na América Latina e no Caribe fossem substituídos por gás natural, seria obtida uma redução direta equivalente a 6,5% das emissões da região**

O comércio de gás natural por meio de gasodutos ou na forma de gás natural liquefeito para substituir o carvão e o petróleo nas matrizes energéticas de outros países ajudaria a reduzir as emissões nesses países no curto prazo<sup>17</sup>.

Um risco da penetração do gás é que a aquisição de capital relacionada ao consumo de gás atrase a velocidade de convergência para a neutralidade de carbônica. Uma forma de minimizar esse risco é considerar a adaptação de equipamentos para uso de gás natural como uma etapa em uma estratégia de descarbonização.

<sup>17</sup> O consumo global de carvão é ainda superior ao de gás natural, representando 27% das fontes de energia primária, enquanto na região representa apenas 5% (OLADE, 2023b). No entanto, o comércio de gás natural de longa distância requer infraestrutura específica e capital intensivo para a liquefação de gás na origem, o transporte marítimo em navios especializadas e usinas de regaseificação no destino.

# Parte III D

## Demanda de energia e transição energética

### A transição energética em indústrias difíceis de descarbonizar

A indústria gera 11% das emissões diretas e 24% das emissões de energia na América Latina e no Caribe. Desses, os subsetores de cimento, aço e produtos químicos representam 57%. Essas três indústrias possuem três características que as destacam: são essenciais para a economia moderna; têm alta intensidade energética; e têm alternativas viáveis limitadas para descarbonizar seus processos de produção no curto prazo.



**A indústria gera 24% das emissões de energia na América Latina e no Caribe. Desses, os subsetores de cimento, aço e produtos químicos representam 57%**

As principais políticas de descarbonização para esses setores são apresentadas na tabela 5 e discutidas em mais detalhes abaixo.

**Tabela 5**

Políticas para a descarbonização da indústria

Cimento	Aço	Química
Uso de fornos mais modernos	Promoção da indústria de hidrogênio verde e promoção de polos industriais em áreas próximas para permitir a produção de aço	Promoção da indústria de hidrogênio verde e promoção de polos industriais em áreas próximas para permitir a produção de produtos químicos
Adoção de normas técnicas sobre a composição e o desempenho do cimento para reduzir o teor de clínquer	Financiamento para a renovação de fornos e outras melhorias tecnológicas	Captura de carbono (tecnologia madura de amônia)
Biomassa como combustível e cinzas de biomassa como substituto do clínquer	Economia circular e recuperação de sucata	Eletrificação de determinados processos (produção de pellets de plástico)
Economia circular e reciclagem de concreto		Circularidade e reciclagem de plásticos, incluindo regulamentações e impostos sobre plásticos de uso único

## Cimento

O setor de cimento é caracterizado por gerar emissões não só devido ao seu consumo de energia, mas especialmente em seu processo produtivo. Durante a produção, são produzidas cinzas, resíduos de rocha e poeira contendo poluentes atmosféricos, como material particulado (PM<sub>2,5</sub>) e resíduos sólidos. No próprio processo de produção também são liberados óxidos de nitrogênio (NOx) e dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>) (Kusuma et al., 2022), poluentes do ar que se decompõem na atmosfera em MP<sub>2,5</sub>. Oitenta e seis por cento das emissões de toda a cadeia de valor, desde a extração da pedra até a logística no local, ocorrem na fabricação de clínquer. Dessa porcentagem, 60% são provenientes da calcinação do calcário, que quando queimado se decompõe em óxido de cálcio e dióxido de carbono, enquanto os restantes 40% são provenientes da queima de combustíveis para essa calcinação. Cem por cento da energia térmica utilizada pelo setor é para a obtenção do clínquer, enquanto o restante dos processos consome eletricidade.

A alternativa com maior potencial de descarbonização é a redução do uso de clínquer na produção de cimento. As principais opções atualmente viáveis para conseguir isso são as cinzas volantes, que surgem da

queima de carvão, e a escória granulada de alto-forno (EGAF), que é gerada como resíduo na produção de aço de alto-forno. Outras estratégias de mitigação para o setor são o uso de combustíveis alternativos para a queima e fornos modernos. Esses são fornos rotativos com pré-calcinadores e pré-aquecedores de suspensão, que são a solução mais eficiente para reduzir as emissões. Na América Latina e no Caribe, apenas 65% das usinas utilizam esse tipo de fornos e têm uma idade média de 29 anos, superior à média mundial de 18 anos, o que indica que ainda há espaço para atualizá-los e ganhar eficiência. Quanto ao uso de combustíveis, a biomassa é a opção com maior eficiência e menores emissões.

● ●  
**Oitenta e seis por cento das emissões de toda a cadeia de valor do cimento ocorrem na fabricação de clínquer. Desse total, 60% são provenientes da calcinação do calcário, enquanto os restantes 40% são provenientes da queima de combustíveis para essa calcinação**

## Aço

O setor representa 20% do consumo global de energia dos setores industriais e 8% do consumo global de energia (AIE, 2020). A AIE projeta que a demanda global de aço até 2050 aumentará em mais de um terço em relação ao seu nível atual. Por esse motivo, há uma grande pressão sobre o setor para descarbonizar sua produção e lidar com a crescente demanda com um parque de fornos relativamente jovem nos países em desenvolvimento.

Noventa e cinco por cento das emissões do setor ocorrem no processo de produção do aço e em sua finalização e distribuição (Zoryk e Sanders, 2023). Essas emissões resultam principalmente do alto consumo de energia, já que os combustíveis fósseis são a principal fonte.

A produção de aço pode ser realizada principalmente por meio de duas rotas. A mais comum é a rota primária, que representa cerca de 70% da produção global e na qual o aço é obtido nomeadamente a partir do minério de ferro, utilizando, em geral, altos-fornos e usinas siderúrgicas de oxigênio básico. Os altos-fornos são alimentados com minério de ferro, coque, carvão, gás natural, monóxido de carbono e hidrogênio para produzir ferro fundido. Esse ferro é então utilizado nas siderúrgicas de alto-forno, juntamente com sucata, para produzir aço. Uma alternativa a esse processo, que atualmente representa apenas 10% da produção global de aço primário, é a redução direta do ferro usando primeiro gás natural e depois fornos elétricos a arco. Esse método é menos intensivo em emissões de GEE e tem um

alto potencial de descarbonização se a eletricidade utilizada for gerada a partir de fontes limpas, embora tenha a desvantagem de exigir minério de ferro de alta qualidade<sup>18</sup>.

A rota secundária de produção de aço utiliza sucata como principal insumo e é realizada com um forno elétrico a arco, cuja principal fonte de energia é a eletricidade, e não o carvão. Embora esse método emita significativamente menos GEE, por si só não seria viável para atender ao aumento projetado na demanda de ferro até 2050, pois a sucata é necessária para sua produção.

Algo que distingue a América Latina e o Caribe do resto do mundo é que ambos os métodos de produção são utilizados em proporções semelhantes. Essa diferença no maior uso da rota secundária e o fato de a matriz elétrica da região ser relativamente limpa explicam em parte por que suas emissões por tonelada de aço produzida são menores do que a média global. Em 2019, essas emissões (medidas em kg CO<sub>2</sub>/t) foram 12% inferiores às do resto do mundo e 25% inferiores às da China.



**Em 2019, as emissões por tonelada de aço produzida foram 12% inferiores às do resto do mundo e 25% inferiores às da China**

## Produtos químicos

A indústria química engloba vários insumos que são muito importantes para as economias. Entre eles estão a amônia (essencial para os fertilizantes), o metanol (com múltiplos usos como solvente, anticongelante, combustível ou para a produção de formaldeído) e produtos químicos de alto valor (HVC, por sua sigla em inglês), dos quais é derivado, por exemplo, o plástico. Essa indústria é a principal consumidora

A produção de ferro gera outros poluentes, inclusive os principais poluentes atmosféricos (SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> e MP<sub>2,5</sub>) (AIE, 2020). O processo de produção também polui o solo por meio da liberação de metais pesados. A maior parte das emissões do ferro deve-se à alta necessidade de consumo energético dos fornos para atingir altas temperaturas. Portanto, as soluções tecnológicas para reduzir as emissões desse setor se concentram principalmente na substituição de insumos fósseis, melhorias de eficiência, eletrificação e captura de carbono com uso ou armazenamento.

Entre as tecnologias que a AIE estabelece como atualmente maduras ou em estágio inicial de adoção estão a conversão de gases de escape em combustíveis, o uso de biochar e a redução direta de ferro usando gás natural e arcos elétricos.

Além dos esforços de eficiência energética, são necessárias contribuições tanto do lado da oferta quanto da demanda. Do lado da oferta, houve avanços nos anúncios de emissão zero por grandes empresas siderúrgicas. Do lado da demanda, foi observado um forte crescimento na demanda por aço verde, impulsionado principalmente pelo setor de transportes.

A expansão desses mercados verdes, juntamente com os anúncios de mecanismos de ajuste de fronteira de carbono, reforça a importância de as usinas siderúrgicas da região se posicionarem primeiro nesses mercados, estabelecendo-se como uma indústria pioneira em aço livre de emissões.

de petróleo e gás como insumo energético e para a produção de petroquímicos.

A produção e o consumo de produtos químicos emitem GEE de três formas. Primeiro, pelo uso de combustíveis fósseis como insumo para a fabricação de plásticos, pesticidas e outros produtos químicos. Segundo, pelo consumo de grandes quantidades de

<sup>18</sup> Com uma matriz elétrica 100% verde, essas emissões representariam menos da metade das emissões do processo primário.



energia para a síntese e elaboração dos produtos finais. Por fim, algumas das substâncias produzidas são gases de efeito estufa potentes, como os hidrofluorcarbonos, usados em refrigerantes e aerossóis. Na fase de produção, a amônia é o principal emissor de GEE e o composto mais intensivo em carbono (Pupo e González, 2023). É seguido pelo metanol, cuja produção apresentou o maior crescimento na indústria química, aumentando mais de 20% entre 2015 e 2020 (Pupo e González, 2023). Por fim, os HVCs têm a menor intensidade de carbono.

## Amônia

A amônia é um importante insumo para a produção de fertilizantes e desempenha um papel fundamental na segurança alimentar. Esse composto também serve como combustível livre de emissões.

O processo de produção de amônia exige altas pressões e temperaturas. Mais de 95% da energia consumida nesse processo vem de combustíveis fósseis. Além disso, o gás natural é essencial para a síntese de hidrogênio (H), que é utilizado como um insumo fundamental na produção de amônia. A obtenção de amônia também envolve o uso de ácido nítrico (HNO<sub>3</sub>), que, quando produzido, emite dois poluentes atmosféricos: óxido nítrico (N<sub>2</sub>O), um potente gás de efeito estufa, e NO<sub>x</sub>.

## Metanol

A produção de metanol é intensiva no uso de combustíveis fósseis e geralmente está localizada em países ou regiões com produção petroquímica avançada. O metanol é obtido principalmente a partir do gás natural (60% de sua produção). Essa rota é a mais eficiente, dado o alto teor de metano desse gás. Quase toda a produção restante de metanol (39%) provém do carvão. Por fim, existe uma forma de produzir metanol a partir de fontes renováveis, mas representa apenas 1% da produção<sup>19</sup>.

## Produtos químicos de alto valor e plástico

Os produtos químicos de alto valor (HVCs) compreendem compostos como etileno, propileno, benzeno, tolueno e xilenos. A demanda por essas substâncias é impulsionada principalmente pela demanda por plásticos (Gabrielli et al., 2023). No entanto, as emissões de GEE do plástico são mais altas do que as dos HVCs, dada a intensidade energética envolvida no processo de transformação desses compostos (Gabrielli et al., 2023).

O plástico emite GEE em todas as fases de sua produção e ciclo de vida. A obtenção de resina plástica a partir de combustíveis fósseis representa cerca de 60% das emissões de GEE relacionadas a esse produto, enquanto sua conversão em produto final contribui com cerca de 30%. Os restantes 10% correspondem às emissões na fase final da vida útil do plástico, atribuídas ao seu tratamento como resíduo, e ocorrem principalmente pela sua queima, embora também haja emissões relacionadas à sua decomposição.

## Medidas de descarbonização da indústria química

As principais medidas de descarbonização no setor químico são a captura de carbono com uso ou armazenamento, o hidrogênio verde, a eletrificação dos processos de produção e a substituição de insumos por outros não poluentes. As medidas do lado da demanda incluem a circularidade e as políticas que limitam o uso de determinados produtos químicos, como, por exemplo, a proibição de plásticos de uso único.

<sup>19</sup> Nessa rota, os principais insumos são a biomassa (resíduos agrícolas ou florestais), o CO<sub>2</sub> capturado em outros processos de produção e o hidrogênio obtido de energia renovável.



## As principais medidas de descarbonização no setor químico são a captura de carbono com uso ou armazenamento, o hidrogênio verde, a eletrificação dos processos de produção e a substituição de insumos por outros não poluentes

No caso da amônia, as medidas de eficiência energética representam 25% dos esforços de mitigação. Elas incluem a adoção de tecnologias avançadas disponíveis, melhorias operacionais e a substituição do carvão por gás natural ou outros combustíveis menos intensivos em carbono (AIE, 2021b). Por sua vez, a captura de carbono no processo de produção de amônia já é comum.

No caso do metanol, há duas rotas principais para a descarbonização no curto prazo. A primeira é a produção de biometanol a partir de biomassa. A outra é o metanol verde ou e-metanol, obtido a partir da bioenergia com captura de carbono.

A principal alternativa para o plástico no curto prazo é a reciclagem, que tem duas opções principais. A primeira é a reciclagem mecânica, que envolve a classificação, lavagem, trituração e reprocessamento do plástico. Essa rota tem as menores emissões, pois utiliza principalmente eletricidade. A segunda é a reciclagem química, que permite maior recuperação de resíduos, mas gera maiores emissões. A substituição de plásticos por outros materiais não é uma opção que implique claramente em reduções de GEE.

## Transição energética no setor residencial

Os padrões de consumo de energia das residências dependem do clima, do acesso a fontes de energia, da renda e dos preços da energia, das características da moradia, bem como dos equipamentos e aparelhos para uso e geração de energia. A interação desses fatores ao longo do tempo, juntamente com uma série de características históricas de países e regiões, dá origem a padrões de consumo de energia que condicionam as possibilidades de transição, dos quais se destacam quatro.

### 1. Na América Latina e no Caribe, o setor residencial consome significativamente menos energia do que no mundo desenvolvido.

O consumo por pessoa na região foi de 0,17 toneladas de equivalente de petróleo (tep) em 2021 (OLADE, 2021). Esse valor ficou bem abaixo das médias da China (0,46 tep), dos Estados Unidos (0,73 tep) e da Europa (0,56 tep) (National Bureau of Statistics of China, 2022; EIA, 2020; Eurostat, 2022).



### O consumo de energia por pessoa na região está bem abaixo dos níveis da China, dos Estados Unidos e da Europa

Esse menor consumo residencial per capita é explicado pela baixa necessidade de aquecimento<sup>20</sup> e pela renda média. No entanto, isso pode mudar à medida que a região cresce e diminui sua lacuna de renda em relação ao mundo desenvolvido. O aquecimento global também pode aumentar as necessidades de resfriamento. De fato, espera-se que a posse de ar-condicionado na região aumente em quase 20 pontos percentuais até 2050 como resultado da evolução projetada da temperatura e da renda, o que aumentaria o consumo total de eletricidade residencial em 13%. Isso também introduziria uma forte variabilidade sazonal, com implicações para as capacidades necessárias dos sistemas de eletricidade.

20 Apenas um pequeno grupo de países tem necessidades de aquecimento, incluindo Argentina, Bolívia, Chile, Equador, Peru e Uruguai. Por outro lado, as necessidades de resfriamento são generalizadas.

## **2. O crescimento econômico trouxe uma limpeza da matriz energética residencial nas últimas décadas, mas o desafio do uso excessivo de biomassa persiste.**

Em 1970, a lenha era a principal fonte de energia residencial em 23 dos 27 países analisados, atingindo uma média de 58% do consumo residencial total.

Em 2021, esse lugar foi ocupado pela eletricidade, com uma participação de 38%, aumentando 30 pontos percentuais em relação a 1970 (OLADE, 2021).

De modo geral, o uso de energia suja no consumo residencial, que inclui, além da lenha, o querosene, caiu de 82% em 1970 para 36% em 2021.



## **O uso de energia suja no consumo residencial caiu de 82% em 1970 para 36% em 2021. No entanto, o papel da lenha continua sendo importante em alguns países**

Embora o papel da lenha tenha diminuído no consumo residencial em todos os países, em alguns deles ainda é a fonte mais importante, representando 61% do consumo total, em média. Esses países são os de menores rendas per capita (incluindo Guatemala, Haiti, Honduras e Nicarágua), Chile, onde é usada para aquecimento, e Colômbia, Paraguai e Peru, onde é usada principalmente para cozinhar<sup>21</sup>. O desafio de mudar para fontes mais limpas para cozinhar é especialmente relevante nas áreas rurais, onde a incidência de combustíveis sujos é muito maior<sup>22</sup>. Na média simples dos países, a incidência de biomassa em 2021 foi 20 pontos percentuais maior e a de gás 20 pontos percentuais menor nas áreas rurais do que nas áreas urbanas.

## **3. Houve um aumento notável no acesso à eletricidade na região, mas ainda há lacunas de acesso nas áreas rurais de alguns países. Por outro lado, a informalidade das conexões é um problema relevante nas áreas urbanas.**

Graças ao progresso significativo feito nas últimas décadas, a cobertura de eletricidade residencial cresceu consideravelmente em toda a região, atingindo a universalidade nos países com a maior renda per capita. As lacunas de acesso que ainda existem em países como Bolívia, Colômbia, Equador, El Salvador, Panamá e Peru são o resultado do atraso nas áreas rurais (vide gráfico 12).

A geração solar é particularmente atraente em áreas rurais onde não há rede elétrica, pois permite o acesso à eletricidade sem incorrer nos custos de ampliação da infraestrutura. Iniciativas desse tipo são abundantes nos países da região, com destaque para o Programa Massivo Fotovoltaico do Peru, que levou eletricidade a mais de 200.000 residências. Nesse tipo de projeto, a regressividade da política de subsídios deve ser levada em conta.

Nas áreas urbanas, o desafio das conexões informais é relevante e expõe, por sua vez, dois problemas adicionais. Por um lado, a informalidade acarreta riscos à saúde e deficiências na qualidade da conexão, tanto em termos de continuidade do fornecimento quanto de energia. Por outro lado, a ausência de um medidor significa que se perde o papel regulador que os preços têm no consumo de eletricidade.

## **4. A energia representa um componente importante do orçamento familiar, especialmente dos mais pobres.**

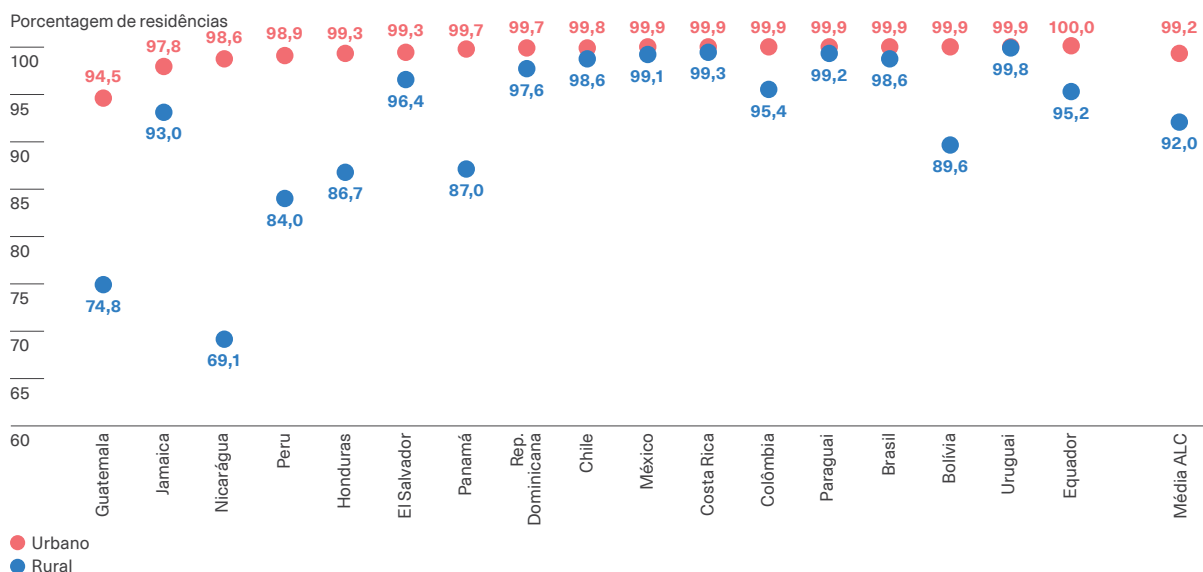
Em média, as famílias gastam 6% de seu orçamento em energia, principalmente em eletricidade, ultrapassando 10% entre os mais pobres em alguns países. Isso pode ser um desafio para a remoção dos subsídios à eletricidade, que em alguns países da região (9 de 32) excedem um ponto do PIB. Com efeito, de acordo com a edição de 2018 da pesquisa Latinobarómetro, na média simples de 18 países, 54% dos entrevistados relataram ter tido, em algum momento, dificuldades para pagar a conta de luz.

21 Em alguns países, como a Guiana, a fonte suja mais comum é o querosene, cujo consumo também caiu consideravelmente na região.

22 Verma e Imelda (2023) constatam que o acesso a combustíveis limpos para cozinhar tem efeitos positivos importantes sobre a saúde e a oferta de trabalho, principalmente para as mulheres.

## Gráfico 12

Proporção de residências conectadas à rede elétrica por área de residência

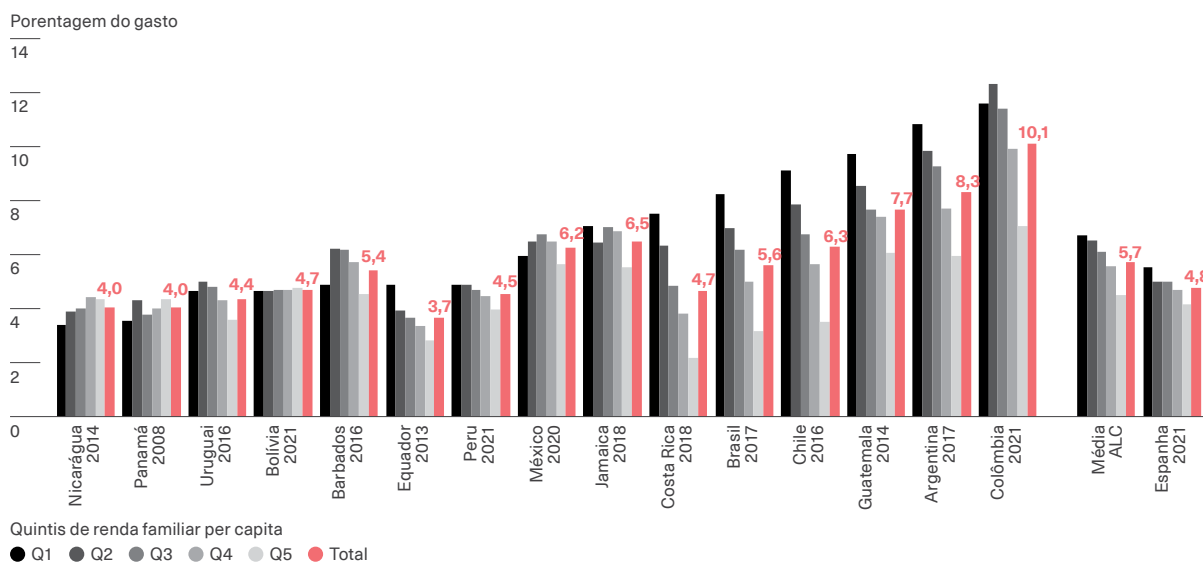


**Nota:** A variável foi construída a partir de pesquisas domiciliares nacionais.

**Fonte:** Puig e Tornarolli (2023).

## Gráfico 13

Porcentagem do gasto das famílias dedicado ao consumo de energia residencial



**Nota:** O gráfico mostra o peso médio do gasto com energia para uso residencial no orçamento doméstico por quintil de renda per capita familiar em 15 países da ALC, a média regional e na Espanha. Esse gasto não inclui o consumo de combustível para transporte. Os dados foram obtidos de pesquisas domiciliares nacionais no período 2013-2021, com exceção do Panamá (ano de 2008). Em alguns países, a pesquisa domiciliar foi realizada em dois anos e, por motivos de espaço, apenas o primeiro ano é mostrado no gráfico. Esse é o caso da Argentina (2017-2018), Brasil (2017-2018), Chile (2016-2017), Costa Rica (2018-2019), Equador (2013-2014) e Uruguai (2016-2017).

**Fonte:** Puig e Tornarolli (2023).

## Políticas para a transição energética no setor residencial

O diagnóstico anterior permite identificar claramente três desafios principais para uma transição energética bem-sucedida no consumo residencial. As

políticas para o setor podem ser abordadas com base nesses desafios (resumidos na tabela 6).

**Tabela 6**

Potenciais políticas para os três principais desafios da transição energética no setor residencial

Desafios	Objetivo	Políticas
Cozimento e aquecimento com biomassa	Substituir aparelhos por outros mais eficientes ou que utilizem energia limpa	Subsídios e financiamento para substituição de fogões e aquecedores
		Campanhas de informação
Aumento da demanda de eletricidade	Melhorar a eficiência de aparelhos e edifícios	Subsídios e financiamento para a substituição de aparelhos antigos
		Padrões mínimos e etiquetagem
	Promover o uso mais eficiente da eletricidade	Campanhas de informação, que incluam comparações de consumo com outras famílias
		Preços dinâmicos e sem subsídios generalizados
Gerar eletricidade nas residências	Programas de regularização de conexões	
Acesso das famílias mais pobres à eletricidade de qualidade	Conter o impacto do gasto com eletricidade nas famílias pobres	Subsídios e financiamento para a aquisição de painéis solares destinados a famílias de baixa renda
		Tarifa de eletricidade por blocos
	Dar acesso à eletricidade em áreas rurais	Subsídios e financiamento para a aquisição de painéis solares destinados a famílias de baixa renda
	Formalizar conexões irregulares em áreas urbanas	Subsídios às tarifas de eletricidade direcionados a famílias de baixa renda
Tarifa de eletricidade por blocos		
		Programas de regularização de conexões

### Desafio 1: Mudanças na tecnologia de cozimento e aquecimento

Embora a migração para a eletricidade seja a solução ideal nessa área, isso requer redes de transmissão e distribuição, que em algumas zonas rurais de alguns

países nem sempre estão presentes, e uma mudança de equipamentos e hábitos, que pode ser cara. A opção do gás natural tem um problema semelhante. O gás liquefeito de petróleo, embora não seja ambientalmente ideal, é muito mais fácil de distribuir, pelo que pode ser considerado como uma alternativa de transição até que o acesso à eletricidade melhore<sup>23</sup>.

<sup>23</sup> Contudo, deve-se considerar que parte dos ganhos na redução de emissões pelo uso de GLP pode ser reduzida porque sua distribuição envolve o transporte que geralmente é realizado com veículos a combustão.

No entanto, há espaço para melhorias, mantendo a biomassa como fonte, mas aproveitando os últimos avanços em seu uso. Por exemplo, no caso dos aquecedores, que são amplamente utilizados para aquecimento no Chile e no Uruguai, aqueles que são alimentados a pellets são mais eficientes e limpos em termos de produção de material particulado do que os tradicionais a lenha (Boso et al., 2019).

O baixo uso dessas alternativas mais limpas pode ser resultado da pouca disposição para pagar ou da falta de conscientização sobre os benefícios à saúde envolvidos. Portanto, dois tipos de estratégias podem ser considerados: 1) subsidiar a aquisição de aparelhos mais eficientes e 2) realizar intervenções de informação e educação. Essas políticas são complementares, pois os subsídios para a adoção de novas tecnologias podem não ser eficazes se não forem acompanhados de um componente de informação e educação (Hanna et al., 2016).



## As intervenções de informação surgem como alternativas com alta custo-efetividade para reduzir as emissões do setor residencial

### Desafio 2: Promover a eficiência energética nas residências

As intervenções para melhorar a eficiência e promover a economia no consumo de eletricidade podem ser agrupadas em três categorias: 1) melhorar a eficiência de aparelhos elétricos e edifícios por meio de subsídios ou padrões obrigatórios; 2) fornecer informações e educação para a adoção de novos aparelhos mais eficientes, bem como para o uso dos existentes; e 3) alterar o nível e a estrutura dos preços da energia.

As evidências disponíveis sobre subsídios para a aquisição de equipamentos mais eficientes mostram efeitos limitados, embora geralmente positivos, dependendo do tipo de aparelho e, em alguns casos, com baixa relação custo-efetividade. Avaliações realizadas no México para geladeiras e condicionadores de ar mostram uma redução no consumo de eletricidade, mas a um custo elevado, estimado em mais de US\$ 500 por tonelada de CO<sub>2</sub>.

Outra política de eficiência energética está relacionada à melhoria dos envolventes das residências. Na região, há déficits de qualidade de construção, o que implica em más condições de isolamento térmico dos edifícios<sup>24</sup>. As duas políticas específicas mais relevantes para melhorar a eficiência energética das residências são a inclusão de padrões mínimos nos códigos de construção e intervenções de informação. Dado que existem sérios problemas de acessibilidade de moradia na região, as políticas públicas devem ser particularmente cuidadosas na avaliação do custo-benefício das intervenções de eficiência energética em edifícios para não contribuir para esse problema.

A adoção de padrões mínimos em eletrodomésticos é avaliada de forma mais favorável e tem sido amplamente implementada no mundo nas últimas quatro décadas. A região está atrasada, principalmente em eletrodomésticos que utilizam água, como máquinas de lavar e lava-louça, em que os padrões cobrem apenas 20% do consumo, e em aparelhos com telas, em que a cobertura de padrões mínimos na região seria zero, em contraste com cerca de 70% da média global.

Com relação às intervenções de informação, há três tipos principais: etiquetagem de eletrodomésticos, fornecimento de informações sobre o nível de consumo de eletricidade próprio e dos vizinhos<sup>25</sup> e campanhas de informação.

No que diz respeito às políticas de preços, o aumento dos preços da energia pode certamente promover a eficiência e a economia no consumo doméstico de eletricidade, mas enfrenta dificuldades. Primeiro, as

<sup>24</sup> Destaca-se a Bolívia, onde quase metade de sua população vive em construções que apresentam algum tipo de déficit.

<sup>25</sup> Uma forma de fornecer informações sobre o próprio consumo que tem sido particularmente bem-sucedida é a comparação com o consumo de vizinhos com características semelhantes (Allcott, 2011; Ayres et al., 2009; Costa e Kahn, 2013). A avaliação de uma intervenção desse tipo em Quito mostrou uma redução no consumo médio mensal de cerca de 1% (Pellerano et al., 2017).

respostas no curto prazo são relativamente limitadas, com reduções de 2% e 4% do consumo para cada aumento de 10% nos preços. Em segundo lugar, o consumo de energia já representa uma fração significativa do orçamento familiar dos mais pobres. Por sua vez, a introdução de preços dinâmicos enfrenta o obstáculo adicional de que as famílias têm dificuldade de reagir a esquemas tarifários mais eficientes, porém mais complexos. Isso é agravado por um obstáculo tecnológico ou de infraestrutura devido à necessidade de instalar medidores especiais nas residências<sup>26</sup>. Da mesma forma, os aumentos de preços podem induzir à informalidade.

### **Desafio 3: Melhorar o acesso das famílias à eletricidade de qualidade**

Esse desafio requer ações em múltiplas dimensões. A primeira é conter o impacto dos gastos com eletricidade nos orçamentos das famílias. Duas ferramentas

podem ser utilizadas para isso: subsídios direcionados e tarifas de energia elétricas crescentes por blocos. No entanto, a penetração das ERNC pode favorecer uma migração para esquemas tarifários com maior importância do componente fixo, o que pode prejudicar a acessibilidade.

A segunda dimensão refere-se ao fornecimento de acesso à eletricidade para famílias pobres em áreas rurais. Subsidiar a compra e a instalação de painéis solares pode melhorar o acesso nessas áreas.

Por fim, as conexões irregulares às redes elétricas precisam ser melhoradas para superar os problemas de acesso que elas apresentam. O progresso nas soluções nessa área tem dois aspectos. Um deles coincide com o problema do orçamento familiar, levantado na primeira dimensão, e com as ferramentas de política correspondentes. O outro está relacionado à infraestrutura e à gestão da distribuição de eletricidade, na medida em que é necessário instalar cabos e medidores para regularizar a situação dos bairros que estão irregularmente conectados à rede.

## **Transporte e transição energética: rumo à mobilidade sustentável**

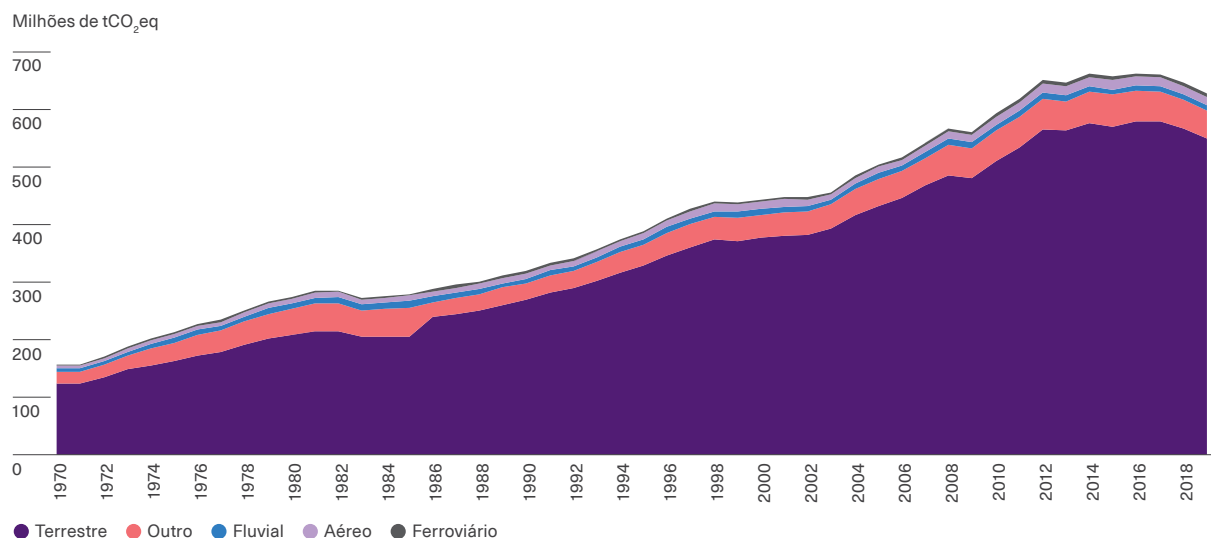
O setor de transportes na América Latina e no Caribe gera 12% das emissões diretas de GEE e 25% das emissões de energia na região. Dessas emissões, a grande maioria é produzida por veículos terrestres. Eles liberam 85% das emissões totais do transporte na América Latina e 88% das emissões no Caribe (Minx et al., 2021). Aproximadamente metade dessas emissões corresponde aos carros e o restante aos veículos de carga e ônibus (Vergara et al., 2021). As emissões de GEE triplicaram no último meio século devido ao aumento do número de carros particulares e caminhões de carga (gráfico 14).

● ●  
**O setor de transportes na América Latina e no Caribe gera 25% das emissões de energia da região. Dessas emissões, a grande maioria é produzida por veículos terrestres**

<sup>26</sup> Vários estudos demonstraram que a resposta dos consumidores aos mecanismos tarifários criados para melhorar a eficiência não produz os resultados esperados, entre outros motivos, devido à dificuldade de entendê-los (vide capítulo 7 do relatório para mais detalhes).

## Gráfico 14

### Emissões de GEE do setor de transporte na América Latina e no Caribe



**Nota:** O gráfico mostra a evolução das emissões de GEE do setor de transporte, medidas em milhões de toneladas de dióxido de carbono equivalente (MtCO<sub>2</sub>eq) na ALC no período 1970-2019 e sua distribuição por modo de transporte. Os gases incluídos são dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) e gases fluorados. O setor de transporte é dividido em terrestre, fluvial, aéreo, ferroviário e outros (incluindo transporte por dutos).

**Foente:** Elaboração própria com base em dados de Minx et al (2021).

## Tabela 7

### Desafios e políticas no setor de transporte para a transição energética

Desafios	Objetivo	Políticas
Aumento das emissões e lacunas de equidade no transporte de pessoas nas cidades	Maior participação modal do transporte público	Infraestrutura de transporte público Subsídios ao transporte público com componente de demanda direcionado
	Maior participação modal dos deslocamentos a pé	Infraestrutura segura para pedestres e ciclistas
	Menor participação modal do carro individual	Impostos sobre o congestionamento, o estacionamento, a propriedade de veículos e a gasolina
	Eletificação de veículos	Facilitar o desenvolvimento de redes de carregamento por meio de subsídios e regulamentações Subsídios para substituição da frota de ônibus e táxis
Aumento das emissões do transporte de carga	Reduzir as emissões do transporte de carga pesada	Impostos sobre combustíveis fósseis Impostos crescentes sobre a propriedade de acordo com a idade do veículo Desenvolvimento de infraestrutura ferroviária quando houver boa relação custo-efetividade
	Reduzir as emissões do transporte de carga leve	Impostos sobre combustíveis fósseis Facilitar o desenvolvimento de redes de carregamento por meio de subsídios e regulamentações Financiamento para renovação da frota





## **A redução de emissões no transporte será alcançada por meio da maior utilização das formas menos poluentes, da eletrificação dos motores e de melhorias na eficiência tanto dos motores de combustão interna quanto da cadeia logística**

### **Transporte de pessoas nas cidades**

As famílias das grandes cidades da América Latina e do Caribe gastam, em média, 1,5 hora por dia e 17% de sua renda em viagens urbanas (Gandelman et al., 2019). Essa relevância da mobilidade urbana para o bem-estar significa que as demandas por reduções de emissões devem ser consideradas juntamente com as demandas por melhor acesso a oportunidades de viagem.

As emissões relacionadas a essas viagens dependem de dois fatores principais: modo de transporte e distância. Ambos os fatores são influenciados pela forma urbana (Stocker et al., 2013). Formas urbanas com maior densidade significam distâncias mais curtas entre origens e destinos e, portanto, menos consumo de energia e emissões. As cidades da região têm níveis médios de densidade ligeiramente superiores aos das cidades europeias e semelhantes aos do Oriente Médio e do Norte da África (Daude et al., 2017). O desafio para o futuro nesse sentido é que, à medida que a renda aumenta, as cidades tendem a crescer mais em tamanho do que em população (Moreno-Monroy et al., 2021), aumentando as distâncias a serem percorridas e pressionando por mais uso de carros.

Relativamente aos modos de transporte, o consumo médio de energia varia muito entre eles, sendo que o carro supera em muito os demais, e a caminhada, a bicicleta e o trem apresentam os consumos mínimos (vide tabela 8). Quanto ao combustível predominante, carros, ônibus e BRT são de origem fóssil, enquanto bondes, trens e metrô costumam funcionar com eletricidade. Os modais ativos são movidos por pessoas. As diferentes combinações de quantidade de energia e tipo de combustível significam que as

Uma transição energética no setor de transporte que reduza as emissões de GEE será alcançada por meio de três mecanismos: 1) maior utilização de formas menos poluentes; 2) eletrificação de motores; e 3) melhorias na eficiência tanto dos motores de combustão interna quanto da cadeia logística. Existem diferentes políticas para promover esses mecanismos, que podem ser ordenados conforme se trate de transporte de passageiros ou de carga (tabela 7).

emissões variam muito entre os diferentes modos. Por exemplo, as emissões por passageiro-quilômetro de um carro movido a gasolina são cinco vezes maiores do que as de um ônibus movido a diesel e cem vezes maiores do que as de um ônibus elétrico (MOVÉS, 2021).

















## **Para reduzir as emissões do transporte urbano é necessário reduzir o uso de carros individuais e aumentar os modais ativos e o transporte público**

As diferenças na intensidade energética e no combustível utilizado implicam, portanto, a redução do uso de carros individuais e o aumento dos modais ativos (caminhada e bicicleta) e do transporte público para reduzir as emissões do transporte urbano. Os dados do Observatório de Mobilidade Urbana (OMU) sugerem que os modais sustentáveis têm um amplo domínio no transporte urbano de pessoas na América Latina e no Caribe (vide tabela 9). Uma área para a redução de emissões no transporte público é a eletrificação dos ônibus. Por fim, um desafio para a região é que o aumento da renda per capita não se traduza em uma maior participação de carros particulares nos modais de deslocamento.

**Tabela 8**

Eficiência e consumo de energia de diferentes meios de transporte urbano

							
	Carro	Ônibus	Bicicleta	BRT	Caminhada	Bonde	Trem/metrô
Passageiros por hora	 2.000	 9.000	 14.000	 17.000	 19.000	 22.000	 80.000
MJ/passageiro-km	1,65-2,45	0,32-0,91	0,1	0,24	0,2	0,53-0,65	0,15-0,35
Combustível predominante	Fóssil	Fóssil	Comida	Fóssil	Comida	Eletricidade	Eletricidade
US\$/passageiro-km infraestrutura	2.500-5.000	200-500	50-150	500-600	50-150	2.500-7.000	15.000-60.000

**Nota:** A tabela mostra, para diferentes modos de transporte, o número de passageiros que podem viajar com conforto e segurança, tomando como referência cidades europeias e asiáticas, a intensidade energética por passageiro-quilômetro (medida em megajoules), os custos de infraestrutura por passageiro-quilômetro (em dólares) e o tipo de combustível predominante para sua operação. No caso da intensidade energética dos ônibus, o valor mais baixo corresponde a Áustria, enquanto o valor mais alto é do México. Originalmente em euros, o custo de infraestrutura foi expresso em dólares utilizando a taxa de câmbio em vigor no ano a que os dados se referem (2010).

**Fonte:** Figueroa et al. (2014).

Juntamente com a forma urbana, a qualidade do transporte público e seu preço relativo são determinantes na escolha dos viajantes e influenciam a divisão modal nas cidades. Em relação à qualidade, quatro problemas principais são a baixa frequência do serviço, o estado da frota pública de veículos, os longos tempos de viagem e as deficiências de segurança, que também apresentam um viés de gênero (Daude et al., 2017). Por outro lado, há espaço para promover a transição energética no transporte por meio de impostos mais altos sobre a gasolina e subsídios para o transporte público.

No que diz respeito ao transporte particular de passageiros, as tecnologias para sua descarbonização estão relativamente avançadas. O explosivo crescimento global dos veículos elétricos é explicado pelo surgimento de modelos mais econômicos, melhorias gerais na autonomia e no desempenho e a existência de fortes subsídios em alguns países.

Um aspecto fundamental para a adoção de veículos elétricos é a infraestrutura de carregamento. Isso se tornou uma das principais limitações para uma adoção mais rápida nos países desenvolvidos (Climate Group, 2023). No entanto, a América Latina e o Caribe têm a vantagem de que a autonomia dos veículos elétricos é geralmente suficiente para o uso urbano diário, uma vez que as distâncias a serem percorridas em suas cidades não são excessivas. Além do parque de carregadores, a qualidade e a confiabilidade desses dispositivos são importantes. O aumento do uso desses carregadores pode gerar congestionamento não só nos próprios aparelhos de carregamento, mas também na rede elétrica.

A eletrificação do carro particular dificilmente será uma solução abrangente para o problema da mobilidade de pessoas nas cidades. Em primeiro lugar, a eletrificação de carros é muito cara para a renda da maioria das famílias da região. Para o latino-americano e caribenho médio, pagar por um carro movido a combustível fóssil requer entre 6 e 14 anos de renda,

enquanto o veículo elétrico mais barato requer quase 17 anos. Esse preço mais alto dos veículos elétricos se deve principalmente ao custo de suas baterias. Além disso, não há um grande mercado para veículos elétricos na América Latina e no Caribe, o que poderia tornar sua compra mais barata. Em segundo lugar, seu potencial de redução de emissões depende de a matriz de geração de eletricidade dos países ser majoritariamente limpa. Em terceiro lugar, algumas externalidades negativas do uso de automóveis, como o congestionamento, não são resolvidas pela eletrificação, e outras, como os acidentes, podem até piorar devido ao maior peso dos veículos elétricos.

Apesar do avanço dos veículos elétricos, espera-se que a demanda por combustíveis fósseis para transporte continue a aumentar até 2050 em muitos países em desenvolvimento, impulsionada, em certa medida, pelo crescimento populacional (AIE, 2023b). Devido a esse aumento na demanda, a redução de emissões exigirá o uso de veículos híbridos, pois eles são mais eficientes em relação aos veículos de combustão interna, e a implementação e desenvolvimento de tecnologias que atinjam esse mesmo objetivo, entre as quais se destacam o uso de biocombustíveis como bioetanol, biodiesel e biogás.

**Tabela 9**

Divisão modal em 10 grandes cidades

	Bogotá	Buenos Aires	Cidade do México	Curitiba	Montevideú	Panamá	Rio de Janeiro	Salvador	São Paulo	Santiago do Chile
<b>Público</b>	<b>34,2</b>	<b>37,8</b>	<b>45,5</b>	<b>25,2</b>	<b>28,4</b>	<b>38,1</b>	<b>47,3</b>	<b>34,9</b>	<b>30,9</b>	<b>19,8</b>
Metrô/trem	0	11,2	11,9	0	0	1	6,2	0	11,1	5,9
Ônibus/BRT	34,2	26,6	33,6	25,2	28,4	37,1	41,1	34,9	19,8	13,9
<b>Ativo</b>	<b>32,1</b>	<b>28,5</b>	<b>30,3</b>	<b>25,4</b>	<b>36,5</b>	<b>8,3</b>	<b>28,3</b>	<b>36,2</b>	<b>32,7</b>	<b>41,2</b>
Caminhada	24,7	24,5	28,5	23,3	34,7	8,1	27,2	35,3	31,8	36,9
Bicicleta	7,4	3,9	1,8	2,1	1,8	0,2	1	0,9	0,9	4,3
<b>Motorizado Individual</b>	<b>24,5</b>	<b>31,5</b>	<b>23,1</b>	<b>49</b>	<b>35,1</b>	<b>45,4</b>	<b>23,4</b>	<b>22,4</b>	<b>30,6</b>	<b>33</b>
Carro	14,3	26,8	16,9	45,8	31,7	35,2	22,7	19,1	27	27,5
Táxi	4,5	1,6	5,3	0,5	1	9,3	-	1,4	1,1	4,9
Moto	5,7	3,1	1	2,7	2,5	0,9	0,7	1,9	2,5	0,6
<b>Outros</b>	<b>9,1</b>	<b>2,3</b>	<b>1,1</b>	<b>0,4</b>	<b>0</b>	<b>8,3</b>	<b>1</b>	<b>6,3</b>	<b>5,8</b>	<b>6</b>
Ano	2019	2018	2017	2017	2016	2014	2011	2012	2017	2012

**Nota:** A tabela mostra a distribuição percentual das viagens diárias de cordão com o principal modal de transporte para 10 cidades em 7 países da ALC, para o período 2011-2019 (varia dependendo da cidade específica). Os dados foram obtidos a partir do processamento de pesquisas de mobilidade. A categoria "táxi" não é informada para o Rio de Janeiro

**Fonte:** Elaboração própria com base em dados do OMU (2023).

## Transporte de carga

Globalmente, o transporte de carga gera cerca de metade das emissões do transporte rodoviário, apesar de representar apenas 8% dos veículos. Na América Latina e no Caribe, mais de 85% da carga transportada é feita por estrada e há alguns sinais de ineficiências significativas nesse subsetor. Em média, um caminhão na região percorre cerca de 62.000 km por ano, 40% menos do que nos Estados Unidos e na União Europeia, e 40% das viagens são feitas com caminhões vazios, o que contrasta com 25% na América do Norte.

As três principais alternativas tecnológicas para descarbonizar o transporte de carga são sua eletrificação, o uso de combustíveis alternativos, como gás natural, hidrogênio verde e biocombustíveis, bem como o aumento do uso do transporte ferroviário.



**Um caminhão na América Latina e no Caribe percorre aproximadamente 40% menos quilômetros por ano do que nos Estados Unidos e na União Europeia, e 40% das viagens são feitas com caminhões vazios, o que contrasta com 25% na América do Norte**

Os caminhões pesados enfrentam grandes desafios para a eletrificação. Para eles, uma opção é o gás natural. Embora não seja um combustível livre de emissões, gera menos GEE do que o diesel e a gasolina e é um recurso abundante na América Latina e no Caribe.

O hidrogênio verde, embora seja uma solução com zero emissões, maior autonomia e reabastecimento mais rápido do que os caminhões elétricos, ainda não é utilizado, principalmente devido à dificuldade e ao alto custo de sua produção, armazenamento e distribuição (Cantillo, 2023). No caso dos biocombustíveis, eles têm sido uma alternativa há vários anos, mas representam apenas 4% do uso total de energia desse subsetor (AIE, 2022).

O transporte ferroviário de carga tem um uso de energia que representa, em média, apenas 15% da energia utilizada no transporte terrestre de carga (Gross, 2020). No entanto, a infraestrutura para trens é cara, pelo que a alternativa só se torna economicamente viável quando uma rota atinge uma escala de carga suficientemente elevada.

## Logística urbana

Os veículos leves, utilizados principalmente para o chamado transporte de última milha, têm um grande potencial de eletrificação. Esses veículos estão liderando a descarbonização do transporte de carga, pois geralmente percorrem distâncias mais curtas e com maior frequência.

A logística urbana apresenta desafios e oportunidades especiais no contexto da transição energética. Em termos de desafios, a maior participação dos caminhões nas emissões de GEE e outros poluentes em ambientes urbanos, em comparação com sua função na frota de veículos, também é verificada nas cidades. Isso é explicado por três fatores. O primeiro fator é que o transporte de mercadorias envolve a movimentação de mais peso do que o transporte de passageiros e isso requer maior potência, o que gera mais emissões. Nesse sentido, as principais oportunidades de eletrificação estão nos veículos de pequeno e médio porte. Um segundo fator é que a maior participação dos caminhões nas emissões se deve fundamentalmente ao fato de que o nível de uso desses veículos é superior ao dos veículos particulares, o que melhora a equação econômica da eletrificação. O terceiro fator é específico da região e tem a ver com a maior informalidade e com a idade da frota de logística urbana (SPIM-Taryet, 2019).

# Parte IV

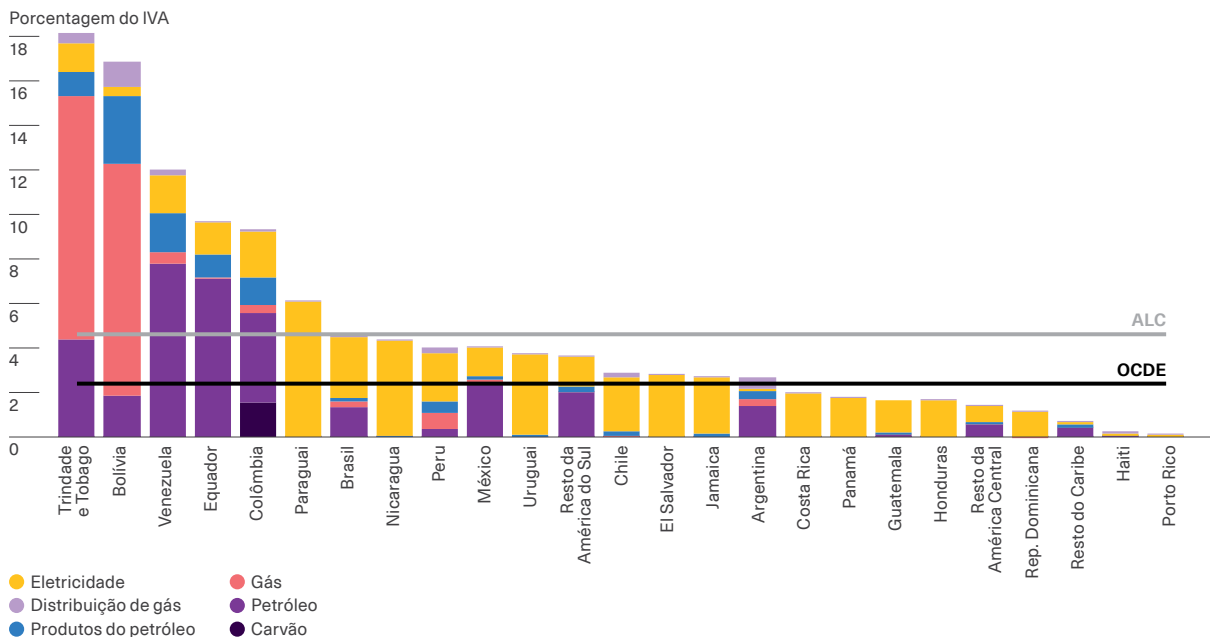
## Rumo a uma transição justa: oportunidades e desafios

O setor energético tem uma maior contribuição para o valor agregado na América Latina e no Caribe do que na OCDE. Enquanto na primeira região fornece 4,6% do valor agregado, na segunda a participação é de 2,5%. Esses números escondem, no entanto, uma grande heterogeneidade na região. Em países como

Trindade e Tobago, Bolívia e Venezuela, os setores energéticos respondem por 18%, 17% e 12% do valor agregado, respectivamente; em outros, como Haiti e República Dominicana, sua contribuição é inferior a 1%. Isso mostra que os impactos agregados da transição serão muito desiguais.

### Gráfico 15

Participação dos setores energéticos no valor agregado por país



Fonte: Elaboração própria com base em Aguiar et al. (2022).

Dada a relevância do setor energético na região, a transição trará consigo um conjunto de desafios tanto na esfera macroeconômica quanto na esfera do trabalho. Isso se deve não apenas aos efeitos diretos no setor energético, mas também a importantes efeitos indiretos por meio de cadeias produtivas.

A importância do setor energético acarreta outro problema: o dos ativos irrecuperáveis. A produção e o uso de energia a partir de recursos fósseis estão associados ao capital e à infraestrutura para sua exploração e distribuição, bem como ao capital vinculado ao seu consumo.

## Desafios macroeconômicos da transição energética

A exploração de recursos fósseis está associada a dois fatores principais: as receitas fiscais e as receitas externas que elas geram. Os países produtores de hidrocarbonetos enfrentarão um duplo choque decorrente de uma possível redução em ambos os tipos de receita. Países como Bolívia, Colômbia, Trindade e Tobago e Venezuela são exportadores líquidos de energia e essas vendas representam uma parcela significativa do total de suas exportações de bens e serviços, além de serem importantes fontes de receitas fiscais. Esse duplo impacto exigirá uma transformação produtiva e fiscal para adaptar a economia ao novo contexto. No aspecto fiscal, a transição pode envolver a introdução ou a reformulação de alguns impostos existentes. Entre eles, um tipo especial são aqueles ligados ao meio ambiente, como impostos sobre energia fóssil, transporte ou emissões, que permitem cumprir um duplo objetivo: melhorar a arrecadação e promover a eficiência reduzindo a externalidade negativa gerada pelas emissões.



### Os países produtores de hidrocarbonetos enfrentarão um duplo choque decorrente de uma possível redução das receitas fiscais e externas

Pois bem, a transição energética afetará não apenas os produtores de hidrocarbonetos, mas também os importadores de energia. Dentro desse grupo, é

possível distinguir dois conjuntos de países. Por um lado, há os importadores de energia com alto potencial de produção de energia a partir de fontes renováveis, como o Chile. Para esses países, abre-se uma janela de oportunidades, pois podem gerar receitas fiscais com a exploração desses recursos e, ao mesmo tempo, reduzir as importações de energia, melhorando suas contas externas. Por outro lado, os países com baixo potencial de produção renovável podem ser afetados por um aumento no preço da energia e uma redução na oferta.

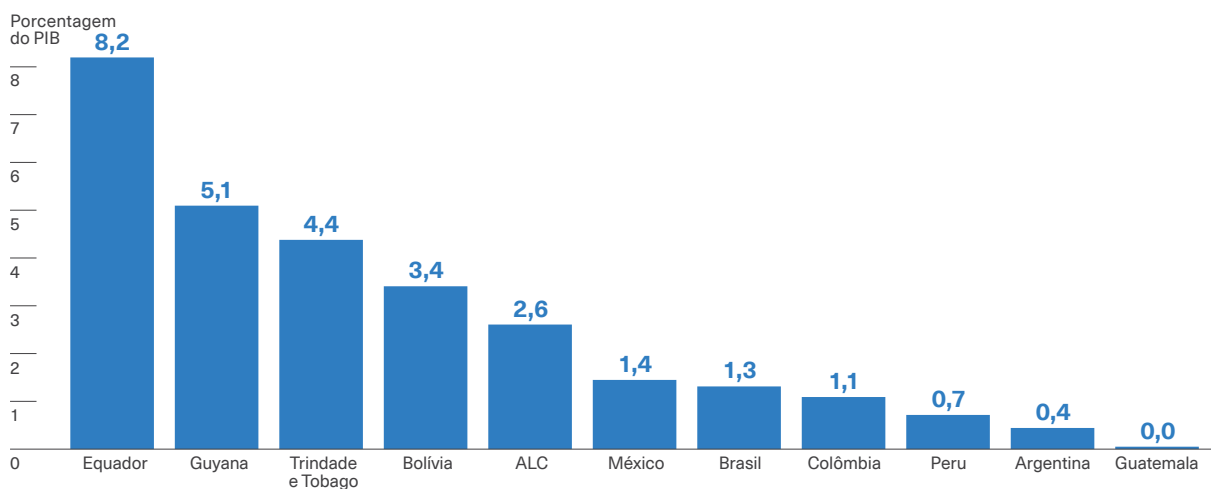
Por sua vez, a energia é um insumo fundamental para muitos setores da economia e, portanto, as mudanças nos seus preços podem ser rapidamente repassadas para o resto da economia. Essa transferência pode ocorrer por meio de diferentes canais, como a *climateflation*, a *fossilflation* e a *greenflation*<sup>27</sup>. Essa maior volatilidade nos preços da energia em particular e na economia em geral apresenta novos desafios para a política monetária.

Um componente crucial da política monetária atual é a comunicação clara e precisa de suas expectativas, metas e ações. A maior volatilidade dos preços, especialmente se for devido a fatores fora do controle da autoridade monetária, pode afetar sua credibilidade e, portanto, a eficácia da política monetária. Diante disso, será necessária a incorporação desses efeitos e a tomada de ações para preservar a independência e a credibilidade da autoridade monetária, ao mesmo tempo em que são abordados os novos cenários de preços.

27 Schnabel (2022) define *climateflation* como um aumento nos níveis de preços causado por uma maior frequência de eventos climáticos extremos e desastres naturais, afetando a oferta de bens; *fossilflation* refere-se a um aumento nos níveis de preços causado por um aumento no preço dos combustíveis fósseis; e *greenflation* refere-se a um aumento nos níveis gerais de preços causado por um rápido crescimento na demanda por energia limpa, pressionando o fornecimento de determinados insumos, como minerais essenciais, e resultando em um preço mais elevado desses produtos e, portanto, da energia.

## Gráfico 16

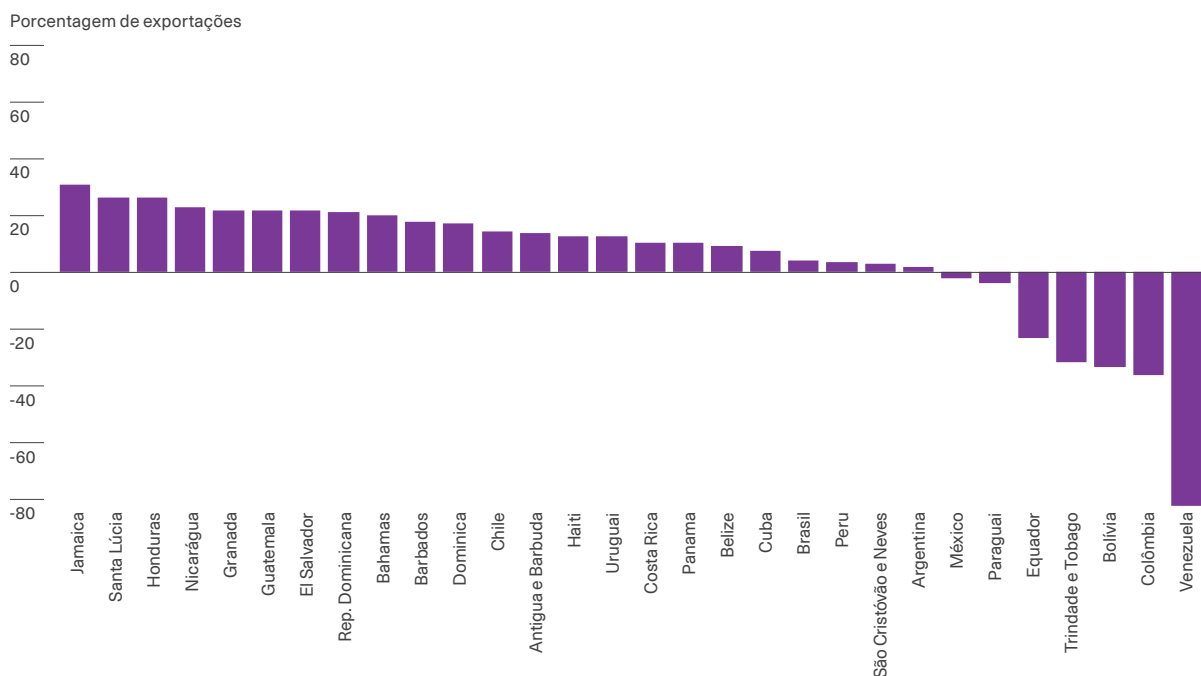
Receitas fiscais geradas pela exploração de recursos fósseis em 2021



Fonte: Elaboração própria com base em dados da CEPAL (2023).

## Gráfico 17

Média das importações líquidas de energia como porcentagem do total das exportações de bens e serviços no período 2006-2019



Fonte: Elaboração própria com base em dados da UNCTAD (2021).

Além da política monetária em particular, a sustentabilidade do sistema financeiro pode ser afetada. À medida que a economia se afasta do consumo de combustíveis fósseis, o capital e as reservas associadas a eles podem ficar retidos. Esse abandono afetará o conjunto da economia, inclusive o setor financeiro, porque muitos desses ativos foram usados como garantias. A Carbon Tracker Initiative (2017) sugere que entre 20% e 30% da capitalização de mercado das bolsas de valores de Londres, São Paulo, Moscou, Austrália e Toronto estão relacionados a combustíveis fósseis. A indústria ligada a

esses combustíveis é grande o suficiente para causar estresse financeiro se a transição para a energia renovável for desordenada e ocorrer um pânico no mercado (Van Der Ploeg e Rezaei, 2020).

Isso impõe desafios à regulação financeira, tanto para direcionar recursos para o financiamento de projetos sustentáveis quanto para garantir que a transição energética seja ordenada e tenha o menor impacto possível sobre a sustentabilidade do sistema financeiro.

## Desafios e oportunidades do mercado de trabalho

Espera-se que a transição energética tenha um impacto nos níveis de emprego (Saget et al., 2020), bem como no perfil das competências e tarefas a desempenhar (Vona et al., 2018). O processo de realocação de empregos pode ser mais ou menos traumático, dependendo, por exemplo, de quão diferentes são os empregos e as tecnologias verdes do resto da economia e da existência de instituições que favoreçam esse processo.

A maioria dos trabalhadores está concentrada em ocupações não verdes. Os números variam de pelo menos 62% em Honduras a mais de 75% no Uruguai. Essas elevadas proporções podem oferecer uma indicação de quão grande pode ser a realocação de empregos entre ocupações. A pergunta que surge imediatamente é: quão diferentes são os empregos verdes dos não verdes?

Os empregos verdes exigem uma proporção maior de homens e de pessoas na faixa etária de 31 a 50 anos. Eles tendem a estar localizados no setor privado, em empresas maiores, e são mais propensos a ter um emprego formal e de tempo integral do que os não verdes. Além disso, pagam salários mais altos e exigem mais competências e uma maior

intensidade de tarefas abstratas<sup>28</sup>. As vagas anunciadas pelas empresas confirmam a percepção de que os empregos verdes exigem mais competências e são mais bem remunerados (García-Suaza et al., 2023).



### Os empregos verdes pagam salários mais altos e exigem mais competências e uma maior intensidade de tarefas abstratas

A transição energética também pode afetar os níveis agregados de emprego. As limitadas evidências existentes indicam que os efeitos são diferentes de acordo com a tecnologia e a fase em consideração (construção versus operação e manutenção). Por exemplo, Fabra et al. (2023) encontram efeitos importantes no emprego local no caso de usinas solares na Espanha, especialmente na fase de construção. Em contrapartida, eles não encontram efeitos importantes em usinas eólicas, seja na fase de construção ou de manutenção. Quando o foco é o desemprego local, os efeitos são mais fracos em comparação com os

28 Na região, o prêmio do emprego verde é reduzido em quase 20% quando se incorporam controles para as características do emprego, da empresa (especialmente seu tamanho), das competências dos trabalhadores e do nível de abstração de suas tarefas. No entanto, mesmo com a incorporação desses controles, há uma considerável disparidade salarial não explicada. Em contraste, nos países da OCDE, ao introduzir esses controles, a disparidade salarial entre empregos verdes e não verdes desaparece.



do emprego, mesmo no caso das usinas solares. Isso sugere que as empresas locais de energia contratam tantos trabalhadores locais quanto trabalhadores de outros municípios. As diferenças entre os multiplicadores de emprego local dos investimentos em energia solar e eólica são explicadas pelas diferentes competências exigidas por cada tecnologia, sendo que os investimentos em energia eólica exigem trabalhadores mais especializados.

Para a região, especificamente no Brasil, verifica-se que os projetos de energia eólica estão associados ao aumento do número de empresas e empregos, bem

como da renda dos trabalhadores (Hernández-Cortés e Mathes, 2024).

Olhando para o futuro, no cenário de compromissos anunciados pela AIE (2023) para a região, espera-se que os empregos no setor energético cresçam 15% até 2030 em relação aos valores de 2022, com uma parte significativa desse aumento proveniente do setor de energia limpa, de 3 a 4 milhões. No entanto, para aproveitar essas oportunidades, é necessário que existam instituições que aliviem os custos para as pessoas que perdem seus empregos e facilitem sua recolocação em novos empregos.

**Tabela 10**  
Diferenças entre empregos verdes e não verdes

	América Latina e Caribe		OCDE	
	Não verde	Verde	Não verde	Verde
Homem	0,5	0,68	0,42	0,8
Ensino superior	0,24	0,2	0,4	0,33
Ensino superior (emprego privado)	0,16	0,18	0,32	0,31
18-30 anos	0,35	0,3	0,25	0,2
31-50 anos	0,47	0,53	0,48	0,53
Mais de 50 anos	0,18	0,17	0,25	0,2
Empresas de médio ou grande porte	0,28	0,52	0,38	0,48
Setor privado	0,78	0,92	0,71	0,88
Formalidade	0,63	0,79	0,9	0,93
Tempo integral	0,7	0,87	0,7	0,9
Tarefas abstratas	-0,09	0,26	-0,09	0,08
Tarefas rotineiras	0,11	0,08	0,11	0,13
Habilidades numéricas	0,06	0,15	0,17	0,32
Log. salário por hora	1,7	1,91	2,61	2,73

**Nota:** A tabela apresenta as médias das variáveis observáveis para empregos verdes e não verdes, utilizando dados do Programa de Avaliação Internacional de Competências de Adultos (PIAAC). Os cálculos de salário por hora excluem o Peru devido à indisponibilidade de dados. No apêndice do capítulo 10 (disponível on-line), pode ser consultada a lista dos países da ALC e da OCDE considerados na tabela.

**Fonte:** Elaboração própria com base em Allub et al. (2024).

# Desafios e oportunidades para o desenvolvimento produtivo: minerais críticos e *powershoring*

A transição energética traz consigo um aumento notável na demanda por minerais críticos, como o lítio e o cobre. Certas tecnologias necessárias para a transição, como baterias e carros elétricos, fontes de geração solar, eólica, geotérmica ou hidrelétrica, ou produção de hidrogênio, exigirão um ou mais desses minerais para sua produção e desenvolvimento.

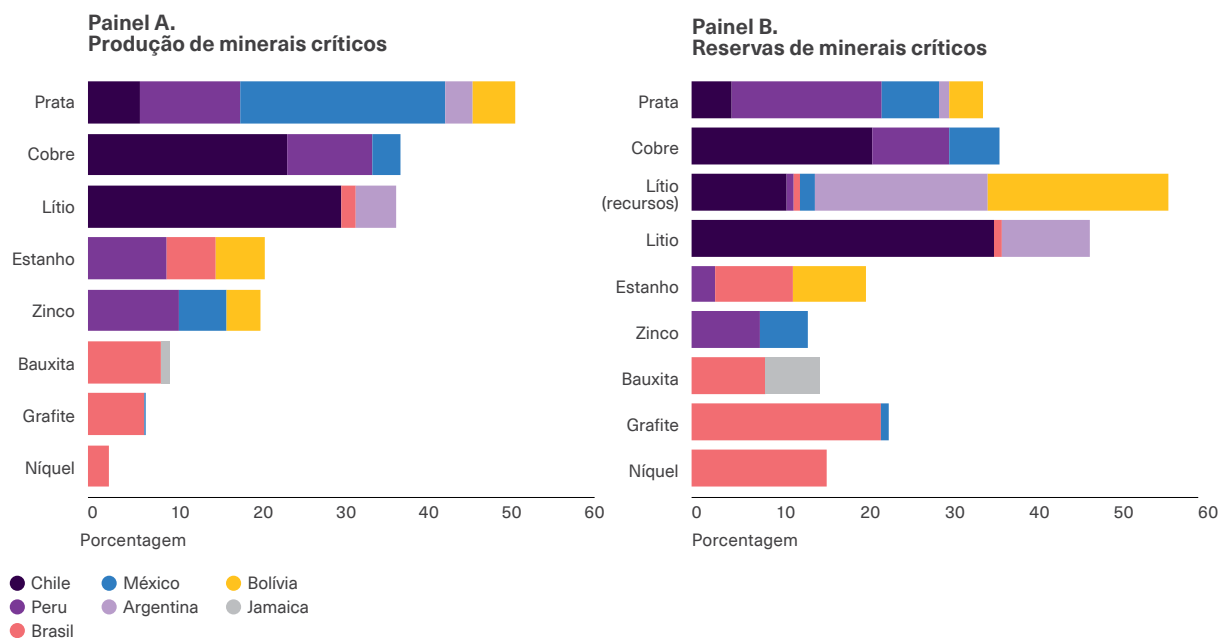
Essa maior demanda oferece oportunidades para vários países da região que possuem reservas e produção globais significativas desses minerais. Por exemplo, as reservas de prata, lítio e cobre na América

Latina e no Caribe excedem 30% das reservas e da produção globais (gráfico 18), o que torna a região um ator-chave na cadeia de valor da energia limpa.

Os países ricos nesses minerais têm a possibilidade de participar de diferentes etapas da cadeia global dessas tecnologias, não apenas produzindo, mas também gerando empregos e receitas fiscais nas localidades onde se encontram esses recursos. Contudo, a expansão da mineração apresenta desafios ambientais, como a poluição dos cursos de água locais e a perda de biodiversidade.

## Gráfico 18

Participação da América Latina e do Caribe na produção e nas reservas de minerais críticos em 2022



**Nota:** Um recurso mineral é uma concentração de minerais que foram identificados e medidos com razoável certeza, mas cuja extração ainda não foi demonstrada como economicamente viável. Uma reserva mineral é uma porção de um recurso mineral que demonstrou ser econômica e legalmente extraível nas atuais condições socioeconômicas e operacionais.

**Fonte:** Elaboração própria com base na U.S. Geological Survey (2023).

O grande potencial da região para produzir energia limpa abre outra janela de oportunidade. Na medida que o mundo atribua ao carbono o custo social que tem atualmente, com mecanismos como o imposto sobre o carbono ou o ajuste de carbono nas fronteiras, a pegada de carbono dos produtos tornar-se-á uma parte fundamental dos custos, determinando padrões de localização e produção que buscam reduzi-la e, assim, ganhar competitividade. O amplo acesso à energia limpa na América Latina e no Caribe pode, portanto, tornar-se esse fator determinante na localização e na produção das empresas, atraindo investimentos, um fenômeno conhecido como *powershoring*.



**O grande potencial da região para produzir energia limpa é uma oportunidade para atrair investimentos em setores intensivos em energia**

Esse potencial para atrair investimentos será particularmente relevante em setores com altos níveis de intensidade energética e com a possibilidade de serem facilmente comercializados, como o alumínio. Por exemplo, estima-se que os mecanismos de ajuste de fronteira a serem implementados pela União Europeia em suas importações implicariam em uma tarifa de 17% para o alumínio da China e mais de 40% para o alumínio da Índia, onde a matriz energética é menos verde e onde não há mercados de carbono desenvolvidos.

Para que ambas as oportunidades sejam aproveitadas, será essencial desenvolver um ambiente de negócios favorável ao investimento e assegurar que este seja realizado com as melhores práticas disponíveis, garantindo o cuidado com o meio ambiente e a preservação da biodiversidade local, de modo a não comprometer os objetivos ambientais.

## Uma agenda abrangente para uma transição energética justa e seus desafios de economia política

Ao longo do relatório as ações prioritárias vinculadas à estratégia energética são apresentadas em detalhes. Elas incluem ações do lado da oferta (parte II) e do lado da demanda (parte III), bem como algumas políticas transversais. Entre essas políticas transversais, destacam-se as seguintes:

1. **Financiamento verde.** A transição exigirá investimentos significativos em infraestrutura e capital, o que demandará recursos financeiros. O aumento de fundos direcionados para projetos verdes será fundamental para atingir as metas de emissões que os países propuseram e os objetivos de justiça climática a partir do financiamento dos países desenvolvidos. Um ingrediente fundamental para isso é o desenvolvimento de taxonomias verdes, que categorizam de forma transparente quais projetos serão elegíveis para financiamento.
2. **Precificação do carbono,** que inclui mercados de carbono e impostos sobre o carbono. Essas políticas fornecem sinais de preços à sociedade para corrigir as externalidades negativas geradas pelas emissões de carbono, aproximando a quantidade de emissões do ótimo social.
3. **Tecnologias de captura, uso e armazenamento de carbono.** Mesmo nos cenários de descarbonização mais otimistas, as energias fósseis ainda são necessárias, seja como reserva para a geração de eletricidade renovável ou como insumo em indústrias que são difíceis de descarbonizar.
4. **Economia circular.** Essas políticas promovem a reciclagem e a reutilização de bens já produzidos para reduzir a necessidade de extração mineral e produção de determinados materiais, como plásticos ou cimento.

No entanto, essa nova transição energética é um fenômeno complexo e transformador para a conjuntura da economia. Deve ser abordada simultaneamente com outras estratégias de mitigação de fontes não energéticas e com outros problemas de desenvolvimento dos países da região. Conseqüentemente, para aproveitar as oportunidades e superar os desafios associados a essa transição, a região deverá gerir uma série de políticas que transcendem a esfera puramente energética, reconhecendo a importância de incorporar uma agenda de produtividade, inclusão e gestão macroeconômica para alcançar o desenvolvimento sustentável.

A transição energética envolve custos e benefícios que não são distribuídos uniformemente entre os vários grupos de interesse, o que implica uma reconfiguração de interesses e poderes tanto nacional quanto globalmente. Compreender os desafios da economia política dessa transição é fundamental para o avanço da agenda descrita.

Uma primeira fonte de resistência refere-se ao social. As metas climáticas estabelecidas em escala global implicam que a transição deve ocorrer em tempos relativamente acelerados. Isso poderia levar, pelo menos em sua fase inicial, a um custo de energia mais alto em comparação com as alternativas energéticas atuais. Em outras palavras, no curto prazo, a transição pode gerar empobrecimento energético, pois as fontes renováveis podem não estar disponíveis na medida necessária e existe a possibilidade de as fontes fósseis se tornarem mais caras devido a políticas como o imposto sobre o carbono.

Uma segunda fonte de resistência surge da presença de ativos irrecuperáveis e das grandes perdas que seu abandono implicaria para as economias dependentes de fontes de energia fóssil. Essas perdas também podem ser distribuídas de forma muito desigual

entre regiões e países. Isso é exacerbado em economias que têm baixo potencial de desenvolvimento de ERNC e carecem de minerais críticos.

Outra fonte de resistência está relacionada ao rápido crescimento da demanda global de energia. Atender a essa demanda continua sendo uma prioridade estratégica para as economias nacionais, o que pode dificultar o cumprimento dos compromissos nacionais e internacionais de redução das emissões de GEE. Isso explica por que alguns países (Estados Unidos, China, Alemanha) aumentam o uso de energias renováveis, enquanto continuam investindo em combustíveis fósseis (Bukowski, 2021).



### **Cada país vivenciará a transição energética na velocidade que lhe convier, adotando estratégias e políticas adequadas à sua realidade e às suas possibilidades**

A agenda de políticas descrita nesse trabalho alivia esses desafios, procurando melhorar os compromissos entre emissões e crescimento, maximizando as oportunidades que a transição energética oferece à região e colocando a proteção do cidadão como uma alta prioridade.

Como em outras áreas da política econômica, não existe uma receita única ou uma combinação de soluções que sirva para todos. Cada país experimentará a transição energética na velocidade que lhe corresponder, adotando estratégias e políticas adequadas à sua realidade e possibilidades, mas considerando a dinâmica da transição energética global, particularmente a dos países desenvolvidos.

# Referências

- ADME (2023). *ADME - Datos Abiertos* [banco de dados]. Administración do Mercado Eléctrico. Acessado em: 4 de dezembro de 2023. <https://www.adme.com.uy/datosabiertos.html>
- Aguiar, A., Chepeliev, M., Corong, E. e Van Der Mensbrugghe, D. (2022). The global trade analysis project (GTAP) data base: Version 11. *Journal of Global Economic Analysis*, 7(2), 1-37. <https://doi.org/10.21642/JGEA.070201AF>
- AIE (2019). *The future of hydrogen*. Paris: Agência Internacional de Energia. <https://www.iea.org/reports/the-future-of-hydrogen>
- AIE (2020). *Iron and steel technology roadmap*. Paris: Agência Internacional de Energia. <https://www.iea.org/reports/iron-and-steel-technology-roadmap>
- AIE (2021a). Final consumption. *Key World Energy Statistics 2021*. Paris: Agência Internacional de Energia. Licença: CC BY 4.0. <https://www.iea.org/reports/key-world-energy-statistics-2021/final-consumption>
- AIE (2021b). *Is carbon capture too expensive?* Agência Internacional de Energia. <https://www.iea.org/commentaries/is-carbon-capture-too-expensive>
- AIE (2021c). *Net Zero by 2050. A roadmap for the global energy sector*. Paris: Agência Internacional de Energia. Licença: CC BY 4.0. <https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050>
- AIE (2022). *Renewables 2022. Analysis and forecast to 2027*. Agência Internacional de Energia. <https://www.iea.org/reports/renewables-2022>
- AIE (2023a). *Emissions from oil and gas operations in net zero transitions*. Paris: Agência Internacional de Energia. <https://www.iea.org/reports/emissions-from-oil-and-gas-operations-in-net-zero-transitions>
- AIE (2023b). *Global EV outlook 2023*. Agência Internacional de Energia. <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2023>
- AIE (2023c). *Global Methane Tracker 2023*. Paris: Agência Internacional de Energia. Licença: CC BY 4.0. <https://www.iea.org/reports/global-methane-tracker-2023>
- AIE (2023d). *World Energy Outlook 2023 Free Dataset* [banco de dados]. Agência Internacional de Energia. Licença: CC BY NC SA 4.0. <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-product/world-energy-outlook-2023-free-dataset-2#overview>
- Alarcón, A. D. (2018). *El sector hidroeléctrico en Latinoamérica: Desarrollo, potencial y perspectivas*. Banco Interamericano de Desenvolvimento. <https://doi.org/10.18235/0001149>
- Allcott, H. (2011). Social norms and energy conservation. *Journal of Public Economics*, 95(9), 1082-1095. <https://doi.org/10.1016/j.jpubeco.2011.03.003>
- Allub, L., Álvarez, F., Bonavida, C. e Finkelstein, M. (2024). *Green jobs: Skills, tasks content, and the green wage premium*. Documento de trabalho. CAF.

Arderne, C., Zorn, C., Nicolas, C. e Koks, E. E. (2020). Predictive mapping of the global power system using open data. *Scientific Data*, 7(1), 19. <https://doi.org/10.1038/s41597-019-0347-4>

Ayres, I., Raseman, S. e Shih, A. (2009). *Evidence from two large field experiments that peer comparison feedback can reduce residential energy usage*. Working paper 15386. National Bureau of Economic Research. <https://doi.org/10.3386/w15386>

Banco Mundial (2023a). PIB, PPA (\$ a preços internacionais constantes de 2011). *Indicadores del Desarrollo Mundial* [banco de dados]. Acessado em: 24 de agosto de 2023. <https://data.worldbank.org/indicador/NY.GDP.MKTP.PP.KD>

Banco Mundial (2023b). PIB (US\$ a preços constantes de 2010). *Indicadores del Desarrollo Mundial* [banco de dados]. Acessado em: 8 de novembro de 2023. <https://datos.bancomundial.org/indicador/NY.GDP.MKTP.KD>

Banco Mundial (2023c). Población total. *Indicadores del Desarrollo Mundial* [banco de dados]. Acessado em: 4 de dezembro de 2023. <https://datos.bancomundial.org/indicador/SP.POP.TOTL>

Bolt, J. e van Zanden, J. L. (2020). *Maddison Project Database, version 2020*. <https://www.rug.nl/ggdc/historicaldevelopment/maddison/publications/wp15.pdf>

Boso, À., Oltra, C. e Hofflinger, Á. (2019). Participation in a programme for assisted replacement of wood-burning stoves in Chile: The role of sociodemographic factors, evaluation of air quality and risk perception. *Energy Policy*, 129, 1220-1226. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.03.038>

Bothwell, C. e Hobbs, B. F. (2017). Crediting wind and solar renewables in electricity capacity markets: The effects of alternative definitions upon market efficiency. *The Energy Journal*, 38(1\_suppl), 173-188. <https://doi.org/10.5547/01956574.38.S11.cb0t>

Brassiolo, P., Estrada, R., Vicuña, S., Odriozola, J., Toledo, M., Juncosa, F., Fajardo, G. e Schargrotsky, E. (2023). *Desafíos globales, soluciones regionales: América Latina y el Caribe frente a la crisis climática y de biodiversidad*. Distrito Capital: CAF. <https://scioteca.caf.com/handle/123456789/2089>

Bukowski, M. (2021). *The geopolitics of energy transition, pt. 1: Six challenges for the international balance of power stemming from transitioning away from fossil fuels*. Institute of New Europe. <https://ine.org.pl/en/the-geopolitics-of-energy-transition-pt-1-six-challenges-for-the-international-balance-of-power-stemming-from-transitioning-away-from-fossil-fuels/>

Cantillo, V. M. (2023). *Transporte de carga y transporte interurbano de pasajeros en América Latina y el Caribe*. Documento de referência. CAF.

Carbon Tracker Initiative (2017). *2 Degrees of separation—Transition risk for oil and gas in a low carbon world*. <https://carbontracker.org/reports/2-degrees-of-separation-transition-risk-for-oil-and-gas-in-a-low-carbon-world-2/>

CEPAL (2022). *Panorama social de América Latina y el Caribe 2022: La transformación de la educación como base para el desarrollo sostenible*. Comissão Econômica para a América Latina e o Caribe. [https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/48518/1/S2200947\\_es.pdf](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/48518/1/S2200947_es.pdf)

CEPAL (2023). *CEPALSTAT* [banco de dados]. Comissão Econômica para a América Latina e o Caribe. Acessado em: 27 de dezembro de 2023 de <https://statistics.cepal.org>

Climate Analytics y New Climate Institute (2023). CAT Climate Target Update Tracker [base de datos]. Recuperada el 14 de agosto de 2023. <https://climateactiontracker.org/climate-target-update-tracker-2022>

Climate Action Tracker (2023). *CAT Climate Target Update Tracker* [banco de datos]. Acessado em: 14 de agosto de 2023. <https://climateactiontracker.org/climate-target-update-tracker-2022/>

Climate Group (2023). *EV100 progress and insights report 2023: Advancing the EV transition across the globe*. <https://www.theclimategroup.org/our-work/press/ev100-progress-and-insights-report-2023>

Climate Watch (2023a). *Explore Nationally Determined Contributions (NDCs)*. <https://www.climatewatchdata.org/ndcs-explore>

Climate Watch (2023b). *Historical GHG emissions* [banco de datos]. Acessado em: 26 de julho de 2023. Washington, DC: World Resources Institute. [https://www.climatewatchdata.org/ghg-emissions?end\\_year=2020&start\\_year=1990](https://www.climatewatchdata.org/ghg-emissions?end_year=2020&start_year=1990)

Coordinador Eléctrico Nacional (2023). *Sistema Eléctrico Nacional* [banco de datos]. Acessado em: 30 de agosto de 2023 de [https://www.coordinador.cl/?jav\\_iWebAncho=1538](https://www.coordinador.cl/?jav_iWebAncho=1538)

Costa, D. L. e Kahn, M. E. (2013). Energy conservation «nudges» and environmentalist ideology: Evidence from a randomized residential electricity field experiment. *Journal of the European Economic Association*, 11(3), 680-702.

Daude, C., Fajardo, G., Brassiolo, P., Estrada, R., Goytia, C., Sanguinetti, P., Álvarez, F. e Vargas, J. (2017). *RED 2017. Crecimiento urbano y acceso a oportunidades: Un desafío para América Latina*. CAF. <https://scioteca.caf.com/handle/123456789/1090>

EIA (2020). *Residential Energy Consumption Survey* [banco de datos]. U.S. Department of Energy, Energy Information Administration. Acessado em: 24 de novembro de 2023 de <https://www.eia.gov/consumption/residential/data/2020/>

ENEL (s.d.). *Medidores inteligentes* [website]. Recuperado em 1 de dezembro de 2023, de <https://enel.pe/content/enel-pe/es/megamenu/sostenibilidad/medidores-inteligentes-de-energia-nueva-tecnologia-mayor-control.html>

Eurostat (2022). *Ambiente y Energía* [Banco de datos]. União Europeia. Acessado em: 16 de agosto de 2023 de <https://ec.europa.eu/eurostat>

Fabra, N., Gutiérrez Chacón, E., Lacuesta, A. e Ramos, R. (2023). *Do renewable energies create local jobs?* SSRN. <https://ssrn.com/abstract=4338642>

Fabra, N. e Montero, J.-P. (2023). Technology-neutral versus technology-specific procurement. *The Economic Journal*, 133(650), 669-705. <https://doi.org/10.1093/ej/ueac075>

Faruqui, A. e Tang, S. (2021). *Best practices in tariff design: A global survey*. Brattle. <https://www.brattle.com/insights-events/publications/best-practices-in-tariff-design-a-global-survey/>

Figueroa, M., Lah, O., Fulton, L. M., McKinnon, A. e Tiwari, G. (2014). Energy for transport. *Annual Review of Environment and Resources*, 39, 295-325.

FMI (2021). *Fossil fuel subsidies by country and fuel*. Fundo Monetário Internacional. Acessado em: 17 de novembro de 2023. <https://www.imf.org/en/Publications/WP/Issues/2023/08/22/IMF-Fossil-Fuel-Subsidies-Data-2023-Update-537281>

Friedlingstein, P., O'Sullivan, M., Jones, M. W., Andrew, R. M., Gregor, L., Hauck, J., Le Quéré, C., Luijkx, I. T., Olsen, A., Peters, G. P., Peters, W., Pongratz, J., Schwingshackl, C., Sitch, S., Canadell, J. G., Ciais, P., Jackson, R. B., Alin, S. R., Alkama, R., ... Zheng, B. (2022). Global carbon budget 2022. *Earth System Science Data*, 14(11), 4811-4900. <https://doi.org/10.5194/essd-14-4811-2022>

Gabrielli, P., Rosa, L., Gazzani, M., Meys, R., Bardow, A., Mazzotti, M. e Sansavini, G. (2023). Net-zero emissions chemical industry in a world of limited resources. *One Earth*, 6(6), 682-704. <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2023.05.006>

Gandelman, N., Serebrisky, T. e Suárez-Alemán, A. (2019). Household spending on transport in Latin America and the Caribbean: A dimension of transport affordability in the region. *Journal of Transport Geography*, 79(C), 1-1.

García-Suaza, A., Caiza-Guamán, P., Romero-Torres, B., Sarango-Iturralde, A. e Buitrago, C. (2023). *Análisis de demanda de empleo verde a partir de información de vacantes para América Latina y el Caribe en el contexto de la transición energética*. CAF. <https://scioteca.caf.com/handle/123456789/2185>

Gross, S. (2020). *The challenge of decarbonizing heavy transport*. Brookings. <https://www.brookings.edu/articles/the-challenge-of-decarbonizing-heavy-transport/>

Hanna, R., Duflo, E. e Greenstone, M. (2016). Up in smoke: The influence of household behavior on the long-run impact of improved cooking stoves. *American Economic Journal: Economic Policy*, 8(1), 80-114. <https://doi.org/10.1257/pol.20140008>

Hattori, T., Takahashi, K. e Tamura, K. (2022). *IGES NDC Database* [série de dados]. Institute for Global Environmental Strategies. Acessado em: 7 de setembro de 2023. <https://doi.org/10.57405/iges-5005>

Hernandez-Cortes, D. e Mathes, S. (2024). The effects of renewable energy projects on employment: Evidence from Brazil. *CAF*. <https://scioteca.caf.com/handle/123456789/2201>

IPCC (2006). Stationary combustion. Em IPC, *2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories. Volume 2: Energy* (Vol. 2). Painel Intergovernamental de Especialistas em Mudanças Climáticas. [https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/2\\_Volume2/V2\\_2\\_Ch2\\_Stationary\\_Combustion.pdf](https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/2_Volume2/V2_2_Ch2_Stationary_Combustion.pdf)

Kusuma, R. T., Hiremath, R. B., Rajesh, P., Kumar, B. e Renukappa, S. (2022). Sustainable transition towards biomass-based cement industry: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 163, 112503. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112503>

La República (2023). Tarifa de luz se cobrará por horarios: ¿desde cuándo rige y en qué tramo del día pagas más económico y caro? *La República* [diário on-line] Edição de 22 de junho. <https://larepublica.pe/economia/2023/06/15/recibo-de-luz-se-medira-por-horarios-desde-cuando-rige-y-que-tramo-del-dia-tiene-la-tarifa-mas-economica-y-cara-en-el-luz-del-sur-electricidad-atmp-940065>

Minx, J. C., Lamb, W. F., Andrew, R. M., Canadell, J. G., Crippa, M., Döbbeling, N., Forster, P. M., Guizzardi, D., Olivier, J., Peters, G. P., Pongratz, J., Reisinger, A., Rigby, M., Saunio, M., Smith, S. J., Solazzo, E. e Tian, H. (2021). A comprehensive and synthetic dataset for global, regional, and national greenhouse gas emissions by sector 1970-2018 with an extension to 2019. *Earth System Science Data*, 13(11), 5213-5252. <https://doi.org/10.5194/essd-13-5213-2021>

Moreno-Monroy, A. I., Schiavina, M. e Veneri, P. (2021). Metropolitan areas in the world. Delineation and population trends. *Journal of Urban Economics*, 125, 103242. <https://doi.org/10.1016/j.jue.2020.103242>



MOVÉS (2021). *El nuevo paradigma de la movilidad urbana sostenible*. Movés Uruguay [website]. <https://moves.gub.uy/movilidadurbanasostenible/>

MRC Consultants e PSR (próxima publicação). *La transición energética de América Latina y el Caribe. Una visión al 2050 de sus oportunidades y desafíos*. Documento inédito. CAF.

Muñoz, F. D. e Mills, A. D. (2015). Endogenous assessment of the capacity value of solar PV in generation investment planning studies. *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, 6(4), 1574-1585. <https://doi.org/10.1109/TSTE.2015.2456019>

National Bureau of Statistics of China (2022). China Statistical Yearbook [banco de dados]. Acessado em: 30 de agosto de 2023 de <https://www.stats.gov.cn/sj/ndsj/2022/indexeh.htm>

Navajas, F. (2023). *Electricity rate structure design in Latin America: Where do we stand? Where should we go?* Banco Interamericano de Desenvolvimento. <https://doi.org/10.18235/0005102>

OLADE (2021). *Sistema de Información Energética de Latinoamérica y el Caribe* [banco de dados]. Organização Latino-Americana de Energia. Acessado em: 1 de novembro de 2023 de <https://sielac.olade.org/WebForms/Reportes/SistemaNumerico.aspx?ss=2>

OLADE (2023a). Generación eléctrica por fuente. *SieLac* [banco de dados]. Organização Latino-Americana de Energia. Acessado em: 20 de dezembro de 2023 de <https://sielac.olade.org/WebForms/Reportes/ReporteDato7.aspx?oc=51&or=30102&ss=2&v=1>

OLADE (2023b). Matriz de balance energético. *SieLac* [banco de dados]. Organização Latino-Americana de Energia. Acessado em: 7 de setembro de 2023. <https://sielac.olade.org/WebForms/Reportes/ReporteBalanceEnergetico.aspx?or=600&ss=2&v=1>

OLADE (2023c). Reservas y potenciales. *SieLac* [banco de dados]. Organização Latino-Americana de Energia. Acessado em: 20 de dezembro de 2023 de <https://sielac.olade.org/WebForms/Reportes/ReporteDato3.aspx?oc=61&or=690&ss=2&v=1>

OMU (2023). *Observatorio de Movilidad Urbana* [banco de dados]. CAF e Banco Interamericano de Desenvolvimento. Acessado em 8 de agosto de 2023. <https://omu-latam.org>

Pellerano, J. A., Price, M. K., Puller, S. L. e Sánchez, G. E. (2017). do extrinsic incentives undermine social norms? Evidence from a field experiment in energy conservation. *Environmental and Resource Economics*, 67(3), 413-428. <https://doi.org/10.1007/s10640-016-0094-3>

Puig, J. e Tornarolli, L. (2023). *Acceso y consumo de energía residencial en América Latina y el Caribe*. Documento de trabalho do CAF.

Pupo, O. e González, A. (2023). *Transición energética y descarbonización en América Latina y el Caribe en industrias de alto consumo energético*.

Saget, C., Vogt-Schilb, A. e Luu, T. (2020). *El empleo en un futuro de cero emisiones netas en América Latina y el Caribe*. Banco Interamericano de Desenvolvimento e Organização Internacional do Trabalho. <https://doi.org/10.18235/0002509>

Schnabel, I. (2022). *A new age of energy inflation: Climateflation, fossilflation and greenflation*. Banco Central Europeu. [https://www.ecb.europa.eu/press/key/date/2022/html/ecb.sp220317\\_2~d8b3582f0a.ee.html](https://www.ecb.europa.eu/press/key/date/2022/html/ecb.sp220317_2~d8b3582f0a.ee.html)

Secretaria de Energia (2022). *Resolución 638/2022*. Boletim Oficial da República Argentina. Ministério da Economia, Secretaria de Energia. <https://www.boletinoficial.gob.ar/detalleAviso/primera/271034>

Secretaria da CMNUCC (2023). Registro de las contribuciones determinadas a nivel nacional *United Nations Climate Change* [website]. [https://unfccc.int/NDCREG?field\\_party\\_region\\_target\\_id=All&field\\_document\\_ca\\_target\\_](https://unfccc.int/NDCREG?field_party_region_target_id=All&field_document_ca_target_)

Sigaudó, D. (2019). Bioetanol: Con producción estable y capacidad ociosa, la industria apuesta a que se incremente el corte obligatorio en NAFTAS. *Bolsa de Comercio de Rosario* [website]. Informativo semanal. <http://www.bcr.com.ar/es/mercados/investigacion-y-desarrollo/informativo-semanal/noticias-informativo-semanal/bioetanol-con>

SPIM-Taryet (2019). *LOGUS: Estrategia CAF en logística urbana sostenible y segura*. CAF. <https://scioteca.caf.com/handle/123456789/1510>

Stocker, T. F., Qin, D., Plattner, G. K., Tignor, M., Allen, S. K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, V., Bex, V. e Midgley, P. M. (2013). *Climate change 2013: The physical science basis. Working Group I contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press.

UNCTAD (2021). *UNCTADStat* [banco de dados]. Conferência das Nações Unidas sobre Comércio e Desenvolvimento. <https://unctadstat.unctad.org/>

U.S. Geological Survey (2023). *Mineral commodity summaries 2023*. ISSN: 0076-8952 (print). <https://doi.org/10.3133/mcs2023>

Van Der Ploeg, F. e Rezai, A. (2020). Stranded assets in the transition to a carbon-free economy. *Annual Review of Resource Economics*, 12(1), 281-298. <https://doi.org/10.1146/annurev-resource-110519-040938>

Vergara, W., Fenhann, J. V. e da Silva, S. R. S. (2021). *The opportunity, cost, and benefits of the coupled decarbonization of the power and transport sectors in Latin America and the Caribbean*. [https://backend.orbit.dtu.dk/ws/portalfiles/portal/247254608/The\\_Opportunity\\_Cost\\_and\\_Benefits\\_online.pdf](https://backend.orbit.dtu.dk/ws/portalfiles/portal/247254608/The_Opportunity_Cost_and_Benefits_online.pdf)

Verma, A. P. e Imelda (2023) Clean Energy Access: Gender Disparity, Health and Labour Supply, *The Economic Journal*, Volume 133(650), pp. 845-871. <https://doi.org/10.1093/ej/ueac057>

Vona, F., Marin, G., Consoli, D. e Popp, D. (2018). Environmental regulation and green skills: An empirical exploration. *Journal of the Association of Environmental and Resource Economists*, 5(4), 713-753. <https://doi.org/10.1086/698859>

Weiss, M., Chueca, E., Jacob, J., Goncalves, F., Azevedo, M., Gouvea, A., Ravillard, P. e Hallack, M. (2022). *Empowering electricity consumers through demand response approach: Why and how*. Banco Interamericano de Desenvolvimento. <https://doi.org/10.18235/0004184>

Zoryk, A. e Sanders, I. (2023). *Steel: Pathways to decarbonization*. Deloitte. <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/es/Documents/manufacturing/Deloitte-es-manufacturing-descarbonizacion-sector-siderurgico.pdf>

## **Relatório de Economia e Desenvolvimento 2024.**

### **Energias renovadas: uma transição energética justa para o desenvolvimento sustentável.**

A elaboração do Relatório de Economia e Desenvolvimento (RED) é de responsabilidade do Departamento de Pesquisas Socioeconômicas da Gestão de Conhecimento do CAF. Lian Allub e Fernando Álvarez foram responsáveis pela edição do conteúdo, com a assistência de Martín Finkelstein. Ana Gerez foi responsável pelas correções de estilo e editoriais.

A redação dos capítulos ficou sob a responsabilidade de:

**Capítulo 1** Lian Allub e Fernando Álvarez

**Capítulo 2** Lian Allub e Fernando Álvarez

**Capítulo 3** Walter Cont e Federico Juncosa

**Capítulo 4** Walter Cont e Federico Juncosa

**Capítulo 5** Walter Cont e Federico Juncosa

**Capítulo 6** Juan Odriozola

**Capítulo 7** Guillermo Alves

**Capítulo 8** Guillermo Alves e Juan Odriozola

**Capítulo 9** Lian Allub e Fernando Álvarez

**Capítulo 10** Lian Allub e Fernando Álvarez

Desde o começo da revolução industrial, o crescimento econômico esteve intimamente ligado ao aumento das emissões de gases de efeito estufa e seu consequente impacto nas mudanças climáticas. Os seus efeitos adversos já começaram a ser sentidos, causando um aumento nas temperaturas e uma maior frequência de eventos climáticos extremos, como enchentes ou secas. Se esse processo continuar, níveis de temperatura incompatíveis com a vida no planeta poderão ser alcançados. Um dos principais responsáveis pela geração desses gases é o consumo de energia de origem fóssil, razão pela qual a transição energética é essencial para alcançar o desenvolvimento sustentável.

Este relatório destaca a necessidade de uma transição energética justa a partir da perspectiva da América Latina e do Caribe, reconhecendo as realidades específicas de cada país e a necessidade de enfrentar, ao mesmo tempo, os atrasos de desenvolvimento de longa data, incluindo as disparidades de PIB per capita em relação ao mundo desenvolvido e os altos níveis de pobreza e desigualdade na região.

Do lado da oferta de energia, o relatório destaca a importância de aumentar a presença de energias renováveis nas matrizes energéticas e de substituir os combustíveis fósseis por outros mais limpos, bem como o papel que o gás pode desempenhar na transição. Do lado da demanda, destacam-se a eficiência energética, as mudanças de comportamento e os processos industriais (incluindo os princípios da economia circular), a mobilidade sustentável e a eletrificação do consumo industrial e residencial. No caso específico da demanda residencial, também é destacada a necessidade de resolver problemas focalizados de acessibilidade à energia de qualidade.

Finalmente, o relatório aponta os desafios macroeconômicos desse processo, bem como as oportunidades de desenvolvimento produtivo que a transição energética oferece à região em virtude de seus recursos e vantagens naturais.



Como um banco verde e um banco de desenvolvimento sustentável e inclusivo na América Latina e no Caribe, o CAF demonstra seu compromisso com a agenda global de Transição Energética Justa, promovendo projetos, iniciativas e conhecimento.

Saiba mais neste vídeo ao longo da RED:

**América Latina y el Caribe: Somos Energías Renovables** (youtube.com)