

ARGENTINA, BRASIL Y MÉXICO EN EL CAMINO HACIA LA NEUTRALIDAD CLIMÁTICA*

Yuri Y. Kovalev

*Ph.D. (Geografía) (yykowljow@gmail.com)
Investigador mayor*

Instituto de Geografía de la Academia de Ciencias de Rusia
Staromonetny pereulok 29, str. 4, Moscú, 119017, Federación de Rusia

SPIN-código: 7210-6799; ORCID: 0000-0002-2272-104X;
Researcher ID: AAR-5733-2020; Scopus Author ID: 7004588796

Dmitry L. Lopátnikov

*Doctor titular (Geografía) (imartos@mail.ru)
Investigador mayor*

Instituto de Geografía de la Academia de Ciencias de Rusia
Staromonetny pereulok 29, str. 4, Moscú, 119017 Federación de Rusia

SPIN-código: 4618-7268; ORCID: 0000-0001-8873-6140;
Researcher ID: K-3026-2015; Scopus Author ID: 6504302182

Recibido el 9 de abril de 2024
Aceptado el 4 de agosto de 2024

DOI: 10.37656/s20768400-2024-04-06

Resumen. *Argentina, Brasil y México son los principales países latinoamericanos en emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). En los últimos 20 años, sus emisiones han aumentado considerablemente. Al mismo tiempo, estos Estados están siguiendo una política climática activa, que se refleja en los programas nacionales oficiales presentados en la CMNUCC, en los que se observan procesos de descarbonización sectorial y transformación baja en carbono, que tienen sus propias especificidades nacionales. El análisis de la intensidad de carbono sectorial y su dinámica permite determinar las características nacionales de la descarbonización, sus logros y dificultades. Si las tendencias actuales continúan, los países podrán alcanzar sus objetivos para 2050.*

Palabras clave: *Argentina, Brasil, México, cambio climático global, gases de efecto invernadero, intensidad de carbono, descarbonización.*

* La investigación se llevó a cabo en el marco del programa estatal para el Instituto de Geografía de la Academia de Ciencias de Rusia “Espacio socioeconómico de Rusia en las condiciones de las transformaciones globales: desafíos internos y externos”, FMWS-2024-0008.

ARGENTINA, BRAZIL AND MEXICO ON THE PATH TO CLIMATE NEUTRALITY*

Yuri Y. Kovalev

Ph.D. (Geography) (yykowljow@gmail.com)
Senior Researcher

Institute of Geography of the Russian Academy of Sciences
29, str. 4, Staromonetny pereulok, Moscow, 119017, Russian Federation

SPIN-code: 7210-6799; ORCID: 0000-0002-2272-104X;
Researcher ID: AAR-5733-2020; Scopus Author ID: 7004588796

Dmitry L. Lopatnikov

Dr. Sci. (Geography) (imartos@mail.ru)
Senior Researcher

Institute of Geography of the Russian Academy of Sciences
29, str. 4, Staromonetny pereulok, Moscow, 119017, Russian Federation

SPIN-code: 4618-7268; ORCID: 0000-0001-8873-6140;
Researcher ID: K-3026-2015; Scopus Author ID: 6504302182

Received on April 9, 2024
Accepted on August 4, 2024

DOI: 10.37656/s20768400-2024-04-06

Abstract. *Argentina, Brazil and Mexico are the leading Latin American countries in terms of greenhouse gas (GHG) emissions. Over the past 20 years, GHG emissions in them have increased many times. At the same time, countries are pursuing an active climate policy, which is reflected in the official national programs presented in the UNFCCC. They observe the processes of sectoral decarbonization and low-carbon transformation, which have their own national specifics. The analysis of sectoral carbon intensity and its dynamics makes it possible to determine the national characteristics of decarbonization, its achievements and difficulties. If current trends continue, countries can achieve climate neutrality goals by 2050.*

Keywords: *Argentina, Brazil, Mexico, global climate change, greenhouse gases, carbon intensity, low-carbon transformation, decarbonization*

* The research was carried out within the framework of the state assignment of the Institute of Geography of the Russian Academy of Sciences “Socio-economic Space of Russia in the Context of Global Transformations: Internal and External Challenges”.

АРГЕНТИНА, БРАЗИЛИЯ И МЕКСИКА НА ПУТИ К КЛИМАТИЧЕСКОЙ НЕЙТРАЛЬНОСТИ *

Юрий Юрьевич Ковалев

Канд. геогр. наук (yukowaljaw@gmail.com)

Старший научный сотрудник

Институт географии РАН

РФ, 119017, Москва, Старомонетный переулок, 29, стр. 4

SPIN-код: 7210-6799; ORCID: 0000-0002-2272-104X;

Researcher ID: AAR-5733-2020; Scopus Author ID: 7004588796

Дмитрий Леонидович Лопатников

Д-р геогр. наук (imartos@mail.ru)

Старший научный сотрудник

Институт географии РАН

РФ, 119017, Москва, Старомонетный переулок, 29, стр. 4

SPIN-код: 4618-7268; ORCID: 0000-0001-8873-6140;

ResearcherID: K-3026-2015; Scopus Author ID: 6504302182

Статья получена 9 апреля 2024 г.

Статья принята 4 августа 2024 г.

DOI: 10.37656/s20768400-2024-04-06

Аннотация. *Аргентина, Бразилия и Мексика – ведущие страны Латинской Америки по выбросам парниковых газов (ПГ). За последние 20 лет эмиссии ПГ в них выросли кратно. Одновременно страны проводят активную климатическую политику, что отражено в официальных национальных программах, представленных в РКИК ООН, в которых наблюдаются процессы отраслевой декарбонизации и низкоуглеродной трансформации, имеющие свою национальную специфику. Анализ секторальной углеродоемкости и ее динамики позволяет определить национальные особенности декарбонизации, ее достижения и трудности. При сохранении текущих тенденций страны могут достичь поставленных целей к 2050 г.*

Ключевые слова: *Аргентина, Бразилия, Мексика, глобальное изменение климата, парниковые газы, углеродоемкость, низкоуглеродная трансформация, декарбонизация*

* Исследование выполнено в рамках государственного задания ИГ РАН «Социально-экономическое пространство России в условиях глобальных трансформаций: внутренние и внешние вызовы», FMWS-2024-0008.

Introducción

El cambio climático global es uno de los principales retos de nuestro tiempo. Algunos destacados expertos mundiales (Nick Bostrom, Tom Engelhard) predicen consecuencias catastróficas del cambio climático global para la humanidad comparables con las consecuencias de un conflicto nuclear global [1, p. 22; 2]. El principal motor del cambio climático es el aumento de la concentración de gases de efecto invernadero (GEI) antropogénicos. De hecho, entre 1990 y 2023, la concentración del principal GEI, el CO₂, aumentó de 350 a 423 ppm. Este indicador no ha tenido tales valores en los últimos 10 mil años y el crecimiento de su concentración continúa. Sin medidas decisivas para contrarrestar las tendencias actuales, el impacto destructivo del cambio climático global aumentará exponencialmente. Por eso la búsqueda de un modelo óptimo de desarrollo socioeconómico, que suavice las contradicciones entre el crecimiento económico y la estabilidad ambiental y, sobre todo, de un modelo con cero emisiones de GEI, es actualmente un aspecto más urgente de la investigación internacional.

Argentina, Brasil y México son “un trío grande” de América Latina [3]. Actualmente cubren el 65% del territorio de la región, concentran el 63,2% del PIB regional y el 60% de su población. Se encuentran entre las mayores potencias económicas del mundo (G20) en términos de escala de producción y prestación de servicios. Son principales productores y exportadores mundiales de productos alimentarios, forestales y mineros. A la vez, son los mayores emisores regionales de GEI antropogénicos, que tienen un efecto desestabilizador sobre el clima. En conjunto, sus emisiones en 2022 ascendieron a unos 2.500 millones de toneladas de CO₂, o

sea, el 66% de las emisiones de GEI de la región. En el período de más de veinte años (2000-2022), las emisiones de estos países aumentaron en un 56% [4].

Al mismo tiempo, “el trío grande” pertenece a los países en desarrollo, llamados semiperiféricos, rezagados en muchos indicadores de desarrollo socioeconómico respecto al grupo de países desarrollados. El desarrollo económico y el crecimiento económico son necesarios para alcanzar los objetivos de desarrollo sostenible. Por otro lado, la mitigación del cambio climático global únicamente es posible sobre la base de una reducción radical de las emisiones de GEI. Sus programas nacionales de GEI presentados a la CMNUCC lo confirman. Argentina tiene previsto reducir sus emisiones de GEI en un 27,7% hasta 2030, Brasil, en un 53,1% y México, en un 35% [5, 6, 7]. Tienen previsto alcanzar la neutralidad de carbono en 2050. Vincular los objetivos de desarrollo socioeconómico con la estrategia para reducir las emisiones de GEI y alcanzar la neutralidad climática es una tarea ingente, cuya solución sólo es posible sobre la base de la transición hacia un modelo de desarrollo económico bajo en carbono.

Tal política implica acciones específicas para descarbonizar los sectores e industrias tradicionales. La *descarbonización* se entiende como medidas de apoyo a la introducción, reproducción y ampliación de tecnologías bajas o nulas en carbono, fomento del uso de recursos energéticos secundarios, cambios en las políticas fiscales, aduaneras y presupuestarias, desarrollo de finanzas verdes, preservación y aumento de la capacidad de absorción de los bosques y otros ecosistemas, apoyo a las tecnologías de captura, uso y utilización de gases de efecto invernadero [8]. Estas medidas tienen por objeto reducir las emisiones de GEI y contribuir así a estabilizar el aumento de la temperatura del aire en superficie. Por otro lado, la descarbonización contribuye a abrir nuevas “ventanas” de desarrollo y crecimiento económico, especialmente para los

países en desarrollo [9]. Su objetivo consiste en armonizar las relaciones entre la ecología y la economía, reducir la carga antropogénica sobre el medio ambiente y crear condiciones previas para el crecimiento de las economías nacionales con emisiones mínimas de GEI. El principal objetivo de la descarbonización de Argentina, Brasil y México no es únicamente alcanzar la declarada neutralidad de carbono, sino también crear un efecto a largo plazo de *desacoplamiento* de la economía y la ecología, cuando el crecimiento económico se lleve a cabo sin aumentar las emisiones de GEI.

El propósito de este estudio es determinar la especificidad y dinámica sectorial de las emisiones del “trío grande” latinoamericano, investigar los procesos de descarbonización sectorial, identificar las relaciones causa-efecto, mostrar la diferencia y lo común de las trayectorias de desarrollo bajo en carbono y su especificidad nacional.

Teoría, métodos y breve revisión bibliográfica

La base teórica se basa en el concepto de modernización ecológica, según el cual las innovaciones tecnológicas, su implantación definida y amplia en la economía son una vía alternativa para resolver principales problemas de nuestro tiempo: dar a la humanidad los recursos necesarios y reducir la contaminación del medio ambiente (Martin Jänicke, Joseph Hubert, Bruno Latour, Dmitry L. Lopatnikov) [10, 11, 12, 13]. Sobre la base de las nuevas tecnologías es posible desacoplar (*de-coupling*) las dinámicas de crecimiento económico y de emisión de GEI, lo que ayudará a reducir emisiones, estabilizar el clima del planeta y coexistencia de los sistemas territoriales.

Los autores utilizan el análisis comparativo de datos, el cálculo en términos absolutos y relativos de las emisiones de GEI, su estructura y características sectoriales en Argentina, Brasil y México. Calculando la intensidad de carbono (IC) de los hogares analizaron datos sobre la dinámica del PIB y las emisiones de GEI en el período indicado. Para evaluar el nivel

de IC sectorial se tomaron los indicadores de dinámica de emisiones de GEI en agricultura, electricidad e industria. La IC del sector agrícola y de la producción industrial se estimó a partir del cálculo de las emisiones de GEI en eq. CO₂ por US\$1 de producción creada en 2000-2020. Para el sector energético, las emisiones de carbono se calcularon en relación con los KWh de electricidad generada y los cambios en la cuota de generación con bajas emisiones de carbono en su producción. Para crear una imagen objetiva del nivel y de la dinámica actuales de la IC en estos tres países, se han utilizado indicadores de los procesos de descarbonización, tanto absolutos como relativos, que reflejan diversos aspectos e interdependencias estructurales del sistema natural-económico.

Principales fuentes son datos estadísticos del Banco Mundial (BM), Agencia Internacional de la Energía (AIE), Organización Mundial de la Alimentación (FAO), agencias estadísticas *Enerdata*, *Low Carbon*, *World in Data*. Para analizar las políticas nacionales en la esfera de neutralidad climática se utilizaron los Programas de Estado (SNAP) y las Estrategias Nacionales de Desarrollo Bajo en Carbono (NLDS) de Argentina, Brasil y México presentados a la CMNUCC.

Resultados del estudio

Brasil, México y Argentina son los principales países productores de GEI del mundo. Sus emisiones totales superaron 2.500 millones de toneladas en 2022. En comparación con otros estados, su cuota en la estructura de las emisiones mundiales (el 4,6%) era inferior a la del Grupo 7 y de la UE y comparable a la cuota combinada de los países de Oriente Medio y el Norte de África. Entre los países en consideración, Brasil es el líder absoluto por este indicador. Sus emisiones fueron de 1.310 millones de toneladas, casi 500 millones más que el segundo productor de América Latina, México (819 millones de CO₂ eq). Brasil ocupa el sexto puesto mundial, por detrás de China, EE.UU., India, la UE y Rusia. México se encuentra entre los

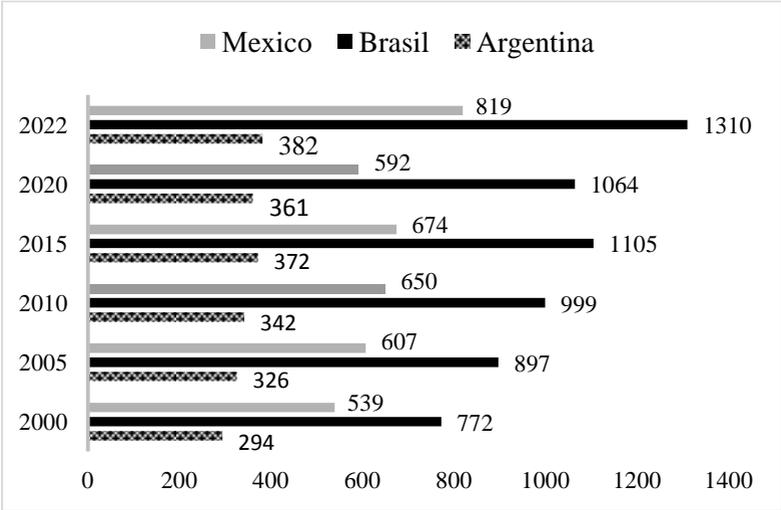
diez primeros países del mundo. Su cuota en el mundo es del 1,5%. Las emisiones de GEI de Argentina son 2,5 veces inferiores a las de México y se sitúan en 383 millones de toneladas [4].

La dinámica de las emisiones de GEI desde los principios de la década de 1990 muestra para estos países el crecimiento acelerado hasta mediados de la segunda década del siglo XXI. Esta evolución se correlaciona con los indicadores económicos de desarrollo (PIB) y la evolución de la política climática. El descenso de las emisiones coincidió con la ratificación del Acuerdo de París en 2016 y se redujo notablemente en 2020 debido a la epidemia de COVID-19 y al cierre de muchas industrias. En 2022, las emisiones volvieron a crecer. En conjunto, las emisiones de GEI en estos países aumentaron en el 56,4% en comparación con el año 2000, lo que se correlacionó con el crecimiento del PIB total (el 54%). Al mismo tiempo, las emisiones en Argentina aumentaron en un 30%, en México, en un 51% y en Brasil, en un 70% (Gráfico 1).

Un análisis más detallado de la estructura de las emisiones de GEI revela diferencias significativas tanto entre estos tres países como en comparación con otros Estados del mundo. Se sabe que el principal gas de efecto invernadero antropogénico es el dióxido de carbono (CO₂). Su cuota en la estructura de las emisiones mundiales es un 75%. En los países desarrollados, así como en los grandes países en desarrollo (por ejemplo, India, China, Sudáfrica) su proporción supera el 80%. La mayor parte del carbono antropogénico se genera mediante la quema de combustibles fósiles en la energía, el transporte y la industria. El análisis de la estructura de las emisiones en los países en estudio muestra que la proporción de CO₂ en ellos es muy inferior al promedio mundial. En México se situó en el 65%, en Argentina, el 48% y en Brasil, el 33% [14].

Gráfico 1

Dinámica de las emisiones de GEI de Argentina, Brasil y México en el período 2000-2022, millones de toneladas eq CO₂



Elaboración propia sobre los datos de la fuente [4].

Cabe señalar que los principales GEI en Brasil y Argentina son el metano (CH₄) y el óxido de nitrógeno. El metano representó el 51% de las emisiones en Brasil, el 38% en Argentina y el 24,6% en México [15]. La proporción de metano en los GEI de estos países era entre 2 y 2,5 veces superior al promedio mundial (el 18%) y similar a la del grupo de países menos desarrollados (PMA), que incluye a la mayoría de los Estados tropicales africanos. Además, la proporción de otro potente GEI – el óxido de nitrógeno – era significativamente mayor en estos países que el promedio mundial (Brasil, el 18%, Argentina, el 14%), que también era 2-3 veces superior al promedio mundial (el 6,5%) [16].

Las razones de la elevada proporción de metano y óxido de nitrógeno en la estructura de las emisiones se deben a las

particularidades económicas y a la enorme importancia del sector agrícola, que en Brasil y Argentina es uno de los principales pilares de sus sistemas económicos. En Brasil, el sector agroindustrial representa el 20% del PIB y ocupa cerca del 30% de la población activa. Brasil está entre tres mayores productores mundial de caña de azúcar (primer puesto), maíz (tercer puesto), soja (tercer puesto), carne de vacuno (segundo puesto), carne de ave (tercer puesto), leche y huevos (el 4%) [17]. La participación de los alimentos en las exportaciones brasileñas alcanza el 40%, en las argentinas, el 60%, lo que es muy por encima del promedio mundial (el 9%). [18]. Estos países lideran en la exportación de carne de vacuno, soja y otros productos. Al mismo tiempo, el sector agrícola de Brasil es responsable del 81,4% de las emisiones de metano del país y del 93% de las de óxido de nitrógeno. En Argentina, la agricultura produjo el 74% de las emisiones de metano y el 94% de óxido de nitrógeno [19]. Cabe señalar que la dinámica de crecimiento de las emisiones de metano y óxido de nitrógeno entre 1990 y 2020 superó significativamente el aumento de las emisiones de CO₂. Esto sugiere que los mayores impactos y cambios antropogénicos se produjeron en la agricultura y influye también el cambio de uso de la tierra, incluida la silvicultura.

El análisis de la estructura sectorial de los GEI confirma la tesis sobre el protagonismo del sector agrícola en su producción (Cuadro 1). En estos países la participación del sector agrícola en las emisiones de GEI superó significativamente el promedio mundial (el 13%). En Brasil representó el 48,6%, en Argentina, el 37,2% y en México, el 16,7% de todas las emisiones. La participación de los tres en la estructura de las emisiones de GEI de la agricultura mundial fue el 13% (más del triple de su participación en las emisiones mundiales). Brasil ocupó el tercer lugar en el mundo en cuanto a la escala de emisiones del sector agrícola, Argentina, el séptimo y México, el décimo [20]. Es importante destacar el predominio absoluto del sector agrario en

la producción de GEI en Brasil y Argentina: en cada país este sector produjo más GEI que todos los demás sectores económicos en su conjunto. En México, ocupó el tercer lugar y se ubicó detrás de los sectores de energía y transporte.

Cuadro 1

Estructura sectorial y dinámica de las emisiones de GEI,
US\$ millones

Sector	Agricultura	Producción de energía eléctrica y calor	Industria (incluida la construcción)	Total para 3 sectores millones de toneladas
Brasil				
2000	379	51,1	111	541,1
2020	518	88,8	117,3	724,1
Cambio, %	+37	+73,7	+74	+33,8
México				
2000	86,1	168,8	73,8	328,7
2020	99,2	169,7	94	362,9
Cambio, %	+15	+1	+27	+10,4
Argentina				
2000	116,4	42,2	24,3	182,9
2020	134,6	54,3	49,5	238,4
Cambio, %	+16	+29	+104	+303

Elaboración propia sobre los datos de la fuente [20].

Otro sector con muchas emisiones de GEI está estrechamente relacionado con el uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura. La actividad humana a través del uso de la tierra afecta significativamente a las emisiones de carbono, modificando el intercambio de CO₂ entre la biosfera y la atmósfera. La protección de los ecosistemas naturales, la lucha contra la deforestación, los incendios forestales y la reforestación pueden contribuir significativamente al secuestro de GEI en este sector, a la reducción de las emisiones y la neutralidad de carbono.

Brasil, Argentina y México poseen vastas zonas forestales, que desempeñan un papel crucial en la circulación mundial del

carbono. La cuota de estos países en las zonas boscosas del mundo supera el 14,6%, siendo la de Brasil superior al 12% [21]. Este país posee la segunda mayor superficie forestal del mundo (495 millones de hectáreas), sólo superado por Rusia (815 millones). En Brasil, los bosques ocupan el 60% del territorio, mientras que las áreas agrícolas sólo el 28,6%. El sector forestal es también importante en la economía brasileña. Los bosques tropicales son el principal proveedor de materias primas para la industria de la madera. En 2021, Brasil estaba entre los tres mayores productores mundiales de leña (129 millones de m³) y de madera comercial (115 millones de m³) [17]. La industria de la madera y la expansión de tierras agrícolas son principales causas de deforestación, en particular, en los años 2001-2021. La superficie de los bosques ha disminuido en 56 millones de hectáreas. Al mismo tiempo, la superficie de las tierras agrícolas aumentó en 11 millones de hectáreas (de 228 a 239 millones) [17].

La deforestación progresiva también es característica para Argentina y México. Durante el período analizado, la superficie forestal disminuyó en 5 millones de hectáreas en Argentina (de 33,4 a 28,4 millones) y en casi 3 millones de hectáreas en México (de 68,3 a 65,5 millones). La proporción de bosques en la estructura de uso de la tierra disminuyó en Argentina del 12,2 al 10,4% en favor del uso agrícola. En resumen, cabe destacar que, según los expertos, la expansión de las tierras agrícolas es el principal factor de desaparición de los bosques tropicales en América Latina [22, p. 127]. Aunque la tasa de deforestación en el país ha disminuido notablemente en los últimos años, los grupos de presión agrarios y los productores de madera siguen teniendo fuertes posiciones a la hora de decidir el futuro desarrollo del país. A pesar de que Brasil y Argentina son miembros de la Coalición Internacional de Países con Bosques Tropicales en el marco de la CMNUCC, y México es miembro del Grupo de Integridad Ambiental (EIG), todavía no existe una

amplia comprensión de alta vulnerabilidad del sector agrario al calentamiento global en los niveles superiores del poder político y en la dirección de las corporaciones agrarias. Por desgracia, la orientación dominante consiste en maximizar los beneficios a corto plazo sin tener en cuenta los daños medioambientales.

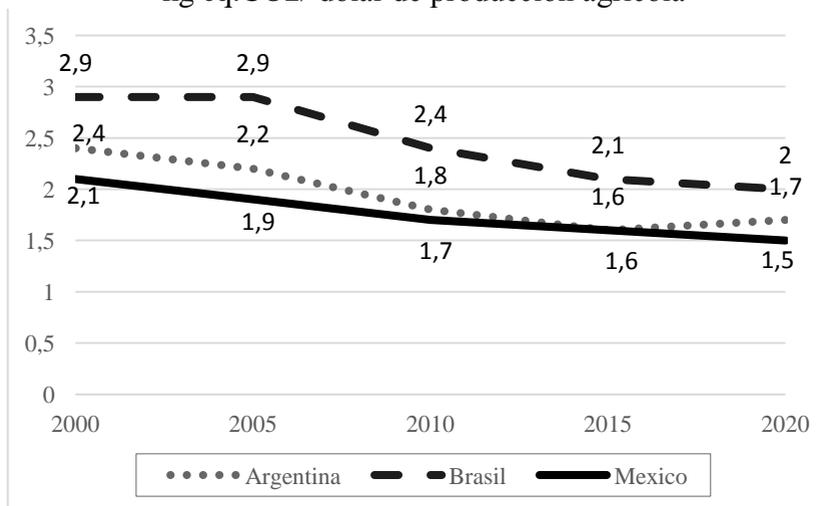
La dinámica de las emisiones de GEI del sector agrícola muestra su crecimiento en los países analizados en 2000-2020. En Brasil, las emisiones aumentaron en un 37%, en México, en un 15% y en Argentina, en un 16%. En comparación con otros sectores económicos, el crecimiento de las emisiones agrícolas fue el menor, lo que indica el fortalecimiento de la actividad reguladora del Estado en este sector (Cuadro 1). Así, en Brasil en 2010 se adoptó el Plan de Agricultura Baja en Carbono (Plan ABC, a partir de 2020 Plan ABC+), destinado a aplicar medidas para reducir las emisiones en el sector agrícola [5, p. 9]. En México, en la agroecología se está realizando el programa *Sembrando Vida*, que abarca 22 estados y miles de explotaciones campesinas [6, p. 10].

A pesar del pequeño aumento de las emisiones de GEI, los tres Estados están experimentando procesos de desacoplamiento: la disociación de la dinámica del crecimiento de la productividad agrícola y las emisiones de GEI. El aumento de la eficiencia de la producción agrícola tiene un impacto significativo en la reducción de la IC sectorial (la relación entre el volumen de las emisiones sectoriales y el valor de los productos manufacturados). En 2020, la intensidad total de carbono del sector agrícola de estos tres países fue de 1,7 kg eq. CO₂/dólar, por encima del promedio mundial (1,4 kg) y significativamente superior a la IC de grandes productores agrícolas como EU.UU. (1 kg), Rusia (1 kg) y China (0,7 kg). El sector agrícola mexicano fue el menos intensivo en carbono entre los países estudiados. En 2020, México produjo 1,5 kg de CO₂ eq. por cada dólar de producción en este sector. En Argentina, este indicador se situó en el nivel de 1,7 kg, en Brasil, 2 kg.

En 2000-2020, la IC del sector agrícola disminuyó significativamente. Las mayores reducciones se observaron en Brasil (el 31%), Argentina (el 29%) y México (el 28%) [23]. Así pues, la producción agrícola de los países es cada vez menos intensiva en carbono, a pesar del aumento de los indicadores absolutos (Gráfico 2).

Gráfico 2

Dinámica de la IC del sector agrícola en Argentina, Brasil y México en 2000-2020, kg eq.CO₂/ dólar de producción agrícola



Elaboración propia sobre los datos de la fuente [17, 20].

Sin embargo, la descarbonización del sector sigue siendo uno de los problemas más difíciles de abordar, ya que el potencial de las tecnologías con bajas emisiones de carbono en este sector es muy limitado. Además, a pesar de las tendencias generales de reducción de la IC en el sector agrario, éste, como ningún otro, está sujeto a fluctuaciones en la circulación de carbono y, en consecuencia, en la IC de todo el sector, lo que está asociado a la volatilidad de factores naturales, socioeconómicos, políticos, etc.

Aunque el sector eléctrico ocupa un lugar importante en la estructura de las emisiones de GEI, su papel en el balance de carbono de estos Estados es mucho menor en comparación con otros países del mundo. Sólo en México ocupa posiciones de liderazgo con una participación del 28% de las emisiones nacionales [20]. En Argentina y Brasil, la importancia de la industria eléctrica en las emisiones de GEI es mucho menor y asciende al 15 y 8%, respectivamente (segundo y tercer puesto) — lo que contrasta con la estructura global de las emisiones sectoriales: la electricidad es el sector líder. Por término medio, representa el 26% de las emisiones mundiales de GEI. En algunos países de los BRICS (China, India, Rusia), así como en los de G7, las emisiones de este sector superan el 40% de las nacionales. Esto refleja las peculiaridades del sector eléctrico y la elevada proporción de generación con bajas emisiones de carbono en su estructura.

Hoy en día, la descarbonización del sector eléctrico es un factor clave para lograr la neutralidad climática en la mayoría de las economías. Según algunas fuentes, por lo menos el 40% de la electricidad mundial ya se genera con bajas emisiones de carbono [24, p. 10]. La generación de este tipo de energía se ha más que duplicado desde el año 2000 (de 5,3 tWh a 11,1 tWh) [24]. Esto indica una progresiva transformación estructural del sector energético.

Entre estos tres países Brasil tiene el sector energético con bajas emisiones de carbono más potente. En 2023, la producción nacional de electricidad a partir de fuentes bajas en carbono alcanza 647 TWh, situando a Brasil en la tercera posición mundial tras China (3337 TWh) y EE.UU. (1739). La cuota de energía baja en carbono en la generación es una de las más altas entre los países del mundo, siendo ésta más del 91%. De este porcentaje, el 61% fue generado por centrales hidroeléctricas, el 13,7% corresponde a las eólicas, el 7%, a las solares, el 8,3%, a los biocombustibles y el 2%, a las nucleares [24]. La cuota de

energía fósil es pequeña y no supera el 8%, con eso más de la mitad de ésta corresponde a las centrales, que utilizan gas natural, lo que tiene un impacto positivo en el balance total de carbono del país. También hay que destacar que la energía baja en carbono ha desempeñado un papel importante en la historia de la electrificación de Brasil. Ya en 1975 representaba el 91% de la producción total de electricidad, y en 1980, el 92,5%. Sin embargo, la diversificación de fuentes ha impulsado el crecimiento de la generación de electricidad a partir de combustibles fósiles. En 2015, la producción de electricidad “sucía” alcanzó un máximo del 28% y después empezó a disminuir gradualmente [25].

En términos de intensidad de carbono del sector eléctrico (la proporción de emisiones de CO₂ por unidad de energía producida), la electricidad de Brasil es una de las más limpias del mundo. Con 86,6 g CO₂/KWh, ocupa el 17° puesto mundial. Está muy por debajo del indicador similar de los BRICS (China – 527, India – 620, Rusia – 371), así como de EE.UU. (356), Canadá (126) y muchos otros [25]. Brasil intenta posicionarse como líder mundial en la transición energética y pretende mantener su liderazgo tanto en biocombustibles como en producción de energía baja en carbono [26]. Según los planes del gobierno, Brasil eliminará por completo los combustibles fósiles en 2040, y está previsto que el sector energético sea neutro en carbono ese mismo año [24].

En Argentina y México, los recursos energéticos fósiles siguen siendo la base de la industria eléctrica. En Argentina representaban más del 61% en 2022 y en México, el 80% de la generación de electricidad. El gas natural desempeña un papel clave en el balance energético de ambos países: el 50% de la generación de electricidad en Argentina y el 60% en México. Otras fuentes importantes de energía fósil son el petróleo y sus derivados (el 10 y el 14% respectivamente) y el carbón (1 y 6,6%) [25].

La energía baja en carbono no está tan desarrollada en Argentina y México como en otros países de la región. La presencia de grandes yacimientos propios de recursos energéticos fósiles es un factor limitante para el desarrollo de energías alternativas. Entre las fuentes de electricidad bajas en carbono, en Argentina domina la hidroeléctrica (el 16,6%) y en México, la eólica (el 5,2%). La cuota de la energía eólica en Argentina es el 11%. Las energías nuclear y solar están presentes en ambos países [25].

La dinámica de la generación de electricidad con bajas emisiones de carbono en estos países muestra su crecimiento en cada uno (Cuadro 2). Mientras que la generación total de electricidad aumentó en un 75% (de 393 a 726 TWh) en Brasil entre 2000 y 2023, la generación de energía baja en carbono aumentó más del doble (103%). En Argentina y México, por el contrario, el crecimiento de la producción de electricidad basada en combustibles fósiles fue ligeramente superior al de la energía baja en carbono (Argentina – el 87,2%, México – el 74,5%) [25].

Cuadro 2

Evolución de la generación de electricidad con bajas emisiones de carbono en Argentina, Brasil-Líbano y México para el período 2000-2023 (Twh)

País	2000	2010	2015	2023	Crecimiento 2000-2023, %
Argentina	35,2	42	41,5	62,2	+76,7
Brasil	318,3	451,5	445,6	647,3	+103
México	49	51,6	59	81,6	+66,5

Elaboración propia sobre los datos de la fuente [25]

En estos países se produjo un salto notable en el desarrollo de la energía solar y eólica. Desde 2000, la capacidad total instalada de estos tipos de energía ha aumentado en Argentina en 4,4 GW, en Brasil, en 48,1 GW y en México, en 10,5 GW [27]. Brasil se situó entre los diez primeros productores mundiales de esta electricidad, mientras que México y Argentina entraron en los veinte primeros [27].

Sin embargo, el crecimiento de las energías renovables y otras fuentes de baja emisión de carbono sólo ha tenido un impacto marginal en la intensidad de carbono del sector. Los análisis de la intensidad de carbono del sector eléctrico en Argentina, Brasil y México muestran un aumento hasta 2015 y una disminución después. Así, en Brasil la intensidad de carbono del sector eléctrico aumentó de 89 g CO₂/kWh en 2000 a 188 g en 2015, en Argentina, de 355 g a 426 g, en México no cambió y ascendió a 520 g. [24]. Después de 2015, los tres países mostraron tendencias de reducir la intensidad de carbono, lo que estuvo asociado al desarrollo de la energía eólica y solar. En 2023, la intensidad de carbono del sector eléctrico en Argentina era de 330 g CO₂/kWh, lo que correspondía a los indicadores de Rusia, EE.UU y otros países desarrollados. En México superó los 450 g CO₂/kWh y fue uno de los indicadores más altos entre los países de Latinoamérica. En este sentido, el gobierno mexicano presta una atención considerable al desarrollo de la energía hidráulica, eólica y solar, así como a la transición de todas las CHPP al gas natural [6, p. 11].

La industria es el tercer sector (en Brasil, el segundo) económico por las emisiones de GEI. Las emisiones totales de los tres países fueron 261 millones de toneladas, y Brasil por sí solo representó alrededor del 44% de todas. Estos países tienen industrias manufactureras y mineras muy desarrolladas. En 2022, la producción industrial de ellos ascendió a US\$1389 mil millones (a precios constantes de 2015) [28]. Su participación en la producción industrial latinoamericana fue del 54% [28]. Los

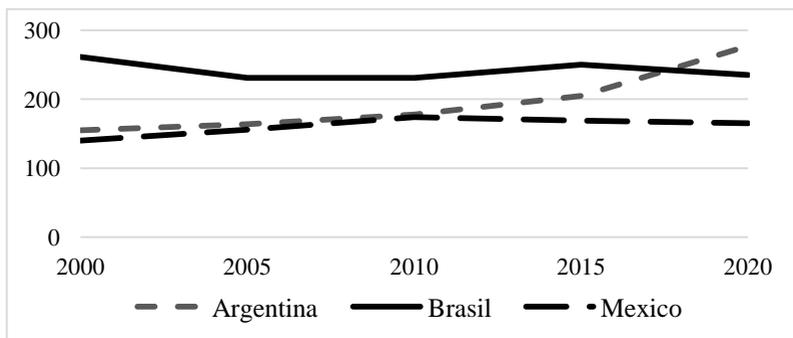
sectores de la industria más importantes son el petróleo y el gas, la metalurgia y la maquinaria de transporte.

El análisis de la IC industrial y su dinámica asociada a los procesos de transformación baja en carbono muestra que en 2020 la industria más carbonizada se encuentra en Argentina. Su sector industrial generó 277 g eq CO₂/dólar de producción industrial. Al mismo tiempo, la IC industrial de México era de 165 g/dólar, más de 100 g por debajo del nivel de Argentina. Brasil, con 235 g/dólar se situaba al nivel intermedio. La IC industrial de los países en consideración se aproximaba al promedio mundial (269 g/dólar). Era significativamente superior a la de EE.UU. (118 g, Alemania (72 g) y Gran Bretaña (56 g), pero significativamente inferior a los indicadores de India (612 g), Rusia (532 g) y China (463 g).

La dinámica de los datos de IC industrial de Argentina, Brasil y México muestra vectores de desarrollo divergentes (Gráfico 3). Mientras que en Argentina y México se produjo un aumento de la intensidad de carbono del sector (+el 78 y +el 18%), en Brasil disminuyó (- el 10%).

Gráfico 3

Dinámica de la intensidad de carbono del sector industrial en Argentina, Brasil y México entre 2000 y 2020, g CO₂/dólar de producción industrial



Elaboración propia sobre los datos de la fuente [20, 27].

Las principales fuentes de GEI en el sector industrial son industrias siderúrgica y cementera. La siderurgia es responsable del 7% de las emisiones mundiales, mientras que a la cementera corresponde el 6,5%. Dentro del sector industrial, la siderurgia y la metalurgia no férrea son responsables del 25% de las emisiones, la industria cementera, el 22%. Estas industrias desempeñan un papel fundamental en las economías de estos Estados. Brasil, México y Argentina son los mayores productores regionales de acero y cemento. En 2021, ocupaban los puestos 9 (36 millones de toneladas), 15 (18.4 millones) y 33 (4.9 millones) en la producción de acero y 12 en la producción de cemento, respectivamente [29]. Estos tres países representan el 91,6% de la producción de acero de América Latina y el 95% de cemento. Por lo tanto, su descarbonización se está convirtiendo en un factor clave para reducir la intensidad de carbono tanto en el sector industrial como en la economía en su conjunto.

Los países en cuestión intentan tener éxito en este campo. En Brasil, por ejemplo, en la ciudad de Asailandia, Maranhão, la empresa *Aço Verde do Brasil* ha construido la primera planta del mundo para producir acero “verde”, va a tener una capacidad de 1.7 millones de toneladas al año (las emisiones medias de GEI son de 0,1-0,06 toneladas CO₂/t de acero, acero convencional – 1.8 toneladas CO₂/t). La empresa fue galardonada con el primer puesto en la categoría “Excelencia en la producción de acero bajo en carbono” por la Asociación Mundial de Productores de Acero para 2023. En México existen instalaciones de producción de acero con mecanismo de reducción y preservación de CO₂ (*Ternium DRI*). La tecnología de secuestro y utilización de CO₂ en la producción de cemento es objeto de amplios debates, pero no existe una implantación práctica de tales tecnologías.

La descarbonización de la industria sigue siendo el talón de Aquiles del “trío grande”. Las enormes esperanzas de reducir su

IC se asociaron a la introducción de sistemas nacionales de comercio de carbono (México 2020) y de impuestos sobre el carbono (México 2014, Argentina 2018) [30]. Sin embargo, como muestra el análisis, no se produjeron cambios notables en la reducción de las emisiones de GEI y la IC del sector.

Resumiendo el estudio, es necesario prestar atención a la dinámica de la intensidad de carbono de toda la economía de “trío grande” para identificar el “efecto desacoplamiento” o desvinculación del desarrollo eco-económico con las emisiones de GEI. Caracterizando el nivel de IC de toda la región latinoamericana, es necesario destacar, en general, su nivel relativamente bajo. Con un indicador de 158 g CO₂/dólar, América Latina ocupa el segundo lugar en el mundo, sólo superada por la UE (135 g CO₂/dólar). Entre el “trío grande” la menor intensidad de carbono de la economía corresponde a Brasil. Con un indicador de 133 g CO₂/dólar, su IC era dos veces inferior al mundial (260 g) y estaba menos carbonizada que las economías de tales países como EE.UU. (228), Japón (214), Alemania (141) [31]. La IC de Argentina y México era ligeramente superior, con 200 y 185 g CO₂/dólar, respectivamente [31].

Cabe señalar que, al igual que en la mayoría de las industrias y sectores de la economía de estos países, se observaba una brecha cada vez mayor entre los indicadores de crecimiento económico y la dinámica de la intensidad de carbono de las sus economías. En precios constantes, el PIB de Argentina creció entre 2000 y 2022 en un 51% (de US\$395 mil millones a 598 mil millones), el de Brasil, en un 58% (de US\$1.19 billones a 1.9 billones) y el de México, en un 35,4% (de US\$945 mil millones a US\$1.28 billones) [32]. El crecimiento anual del PIB fue del 2,1% en promedio en los tres países. Al mismo tiempo, el nivel de IC de la economía ha ido disminuyendo continuamente desde el año 2000. Así, en Argentina este indicador disminuyó en un 9%, en Brasil, en un 11% y en

México, más de un 16%. Por término medio, la intensidad de carbono de las economías en “trío grande” disminuyó en un 12%. Su descenso anual fue del 0,4% en Argentina, del 0,6% en Brasil y del 0,8% en México.

Conclusiones

Argentina, Brasil y México son principales países latinoamericanos en términos de emisiones antropogénicas de GEI. En los últimos 20 años, sus emisiones totales han aumentado en el 55%, en correlación con el crecimiento de su PIB (54%). Desde este punto de vista los países analizados se diferencian de los principales países del Centro Global de la Economía Mundial, la mayoría de los cuales tienen un crecimiento del PIB superior al de las emisiones de GEI. A diferencia de los países del Centro Global, el principal gas en los países seleccionados es el metano (CH₄). Su participación en las emisiones totales fue del 37,8%, el doble del promedio mundial.

Las emisiones de GEI en Argentina, Brasil y México tienen sus propias características sectoriales. La agricultura, la electricidad y la industria son responsables, por término medio, de $\frac{2}{3}$ de las emisiones equivalentes a CO₂. Las emisiones sectoriales aumentaron significativamente entre 2000 y 2020. Las emisiones absolutas del sector agrícola aumentaron en un 22,6%, las del sector eléctrico, en un 34,4% y las del sector industrial, en un 68,3%.

La agricultura es el principal sector emisor de GEI. En Brasil representa casi la mitad de todas las emisiones, en Argentina, el 37,2%. La alta participación de la agricultura en la estructura de GEI se explica por la especialización agraria de estos países en el mercado mundial, el alto porcentaje de la agricultura en el PIB y en la estructura del empleo. A pesar del crecimiento de las emisiones existen procesos de descarbonización del sector, expresados en la reducción de su intensidad de carbono.

Alcanzar la neutralidad de carbono no es posible sin la transición a fuentes de energía bajas en carbono. Entre 2000 y

2023, la generación de electricidad con bajas emisiones de carbono se duplicó en Brasil y en México y aumentó en un 15% en Argentina. Las energía eólica y solar se desarrollan rápidamente, lo que se refleja en su creciente participación en la generación de electricidad.

La industria sigue siendo uno de los sectores más carbonizados y con mayor crecimiento de emisiones de GEI. Entre 2000 y 2020, únicamente el sector industrial de Brasil experimentó una disminución de la IC, mientras que en México y Argentina, por el contrario, se observó su aumento.

En los tres países, los procesos de descarbonización llevan gradualmente a una desvinculación del crecimiento económico y las emisiones de GEI. La transformación se orienta hacia un desarrollo económico, que ahorre más recursos y sea más respetuoso del medio ambiente. Así lo confirman las tendencias de desarrollo en el sector agrícola y menos en la industria. Si se mantiene este vector de desarrollo (a pesar de los cambios políticos en Argentina) y el ritmo de transformación técnica y económica, el “trío grande” de América Latina cuenta con los requisitos previos para alcanzar su objetivo de neutralidad de carbono en 2050. Sin embargo, la descarbonización del sector industrial sigue siendo un reto importante para estos países.

Bibliografía References Библиография

1. Bostrom N. Die Verwundbare Welt. Eine Hypothese. Suhrkamp. Berlin, 2020, 112 p.

2. Engelhard T. A Slow-Motion World War III? Imperial Decline (Up Close and Personal) in the Age of Climate Change. URL: <https://tomdispatch.com/a-slow-motion-world-war-iii> (accessed 01.06.2024).

3. Дмитриевский Ю.Д. Латинская Америка. В: Экономическая, социальная и политическая география мира. Регионы и страны. Под ред. С.Б. Лаврова и Н.В. Калядина. М., 2002, с. 833-877 [Dmitrevskiy Yu.D. Latinskaya Amerika. V: Ekonomicheskaya, sotsial'naya i politicheskaya geografiya mira. Regiony i strany. Pod red. S.B. Lavrova i N.V. Kalyadina [Dmitrevsky Yu.D. Latin America. In: Lavrov S.B., Kalyadin N.V., eds.

Economic, Social and Political Geography of the World. Regions and Countries]. Moscow, 2002, pp. 833-877 (In Russ.).

4. Crippa M. GHG emissions of all world countries. Publications Office of the European Union. Luxembourg, 2023, 265 p.

5. Brazil First NDC 2023 Adjustment. Brasilia, 27 October 2023. UNFCCC.

6. Mexico NDC 2022. UNFCCC, 2022.

7. Argentina Second NDC 2021. UNFCCC, 2021.

8. Птичников А.В., Шварц Е.А., Попова Г.А., Байбар А.С. Стратегия низкоуглеродного развития России и роль лесов в ее реализации. *Вестник Российской Академии наук*. М., 2021, Т. 93, № 1, с. 48-61 [Ptichnikov A.V., Shvarts Ye.A., Popova G.A., Baybar A.S. Strategiya nizkouglerodnogo razvitiya Rossii i rol' lesov v yeye realizatsii [Low-carbon Development Strategy of Russia and the Role of Forests in Its Implementation]. *Vestnik Rossiyskoy Akademii nauk*. Moscow, vol. 93, no. 1, pp. 48-61 (In Russ.).

9. Technology and Innovation Report 2023. UNCTAD, 2023.

10. Jänicke M., Jacob K. Environmental Governance in Global Perspective: New Approaches to Ecological and Political Modernization. Berlin, 2006.

11. Huber J. New Technologies and Environmental Innovation. Cheltenham, Edward Elgar, 2004.

12. Latour B. Love Your Monsters. Why We Must Care for Our Technologies As We Do Our Children. *Breakthrough Journal*, 2011, no. 2, pp. 19-26.

13. Лопатников Д.Л. Миграция мирового центра экологического неблагополучия и “геоэкологический переход”. *Известия Российской академии наук. Серия географическая*. М., 2020, № 5, с. 728-736 [Lopatnikov D.L. Migratsiya mirovogo tsentra ekologicheskogo neblagopoluchiya i “geoekologicheskii perekhod” [Migration of the World Center of Ecological Trouble and “Geoecological Transition”]. *Izvestiya Rossiyskoy akademii nauk. Seriya geograficheskaya*. Moscow, 2020, no. 5, pp. 728-736 (In Russ.).

14. CO₂ emissions (kt). URL: <https://data.worldbank.org/indicator/EN.ATM.CO2E.KT> (accessed 02.06.2024).

15. Methane emissions (kt of CO₂ equivalent). URL: <https://data.worldbank.org/indicator/EN.ATM.METH.KT.CE> (accessed 02.06.2024).

16. Nitrous oxide emissions (thousand metric tons of CO₂ equivalent). URL: <https://data.worldbank.org/indicator/EN.ATM.NOXE.KT.CE> (accessed 03.06.2024).

17. World Food and Agriculture – Statistical Yearbook 2023. URL: <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/28cfd24e-81a9-44ebc-b2b5-4095fe5b1dab/content/cc8166en.html> (accessed 08.06.2024).

18. Food exports. URL: <https://data.worldbank.org/indicator/TX.VAL.FOOD.ZS.UN?view=chart> (accessed 04.06.2024).

19. Agricultural methane and nitrous oxide emissions (thousand metric tons of CO₂ equivalent). URL: <https://data.worldbank.org/indicator/EN.ATM.NOXE.AG.KT.CE> (accessed 05.06.2024).

20. Ritchie H., Rosado P., Roser M. Breakdown of carbon dioxide, methane and nitrous oxide emissions by sector. URL: <https://ourworldindata.org/emissions-by-sector> (accessed 06.06.2024).

21. Ritchie H. Forest area. URL: <https://ourworldindata.org/forest-area> (accessed 06.06.2024).

22. Winter S. Stopp der Regenwaldabholzung. Im: Wiegandt K., hg. 3 Grad Mehr. München, 2023, pp. 123-145.

23. Value of Agricultural Production. URL: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QV> (accessed 11.05.2024).

24. Global Electricity Review, 2023. URL: <https://ember-climate.org/insights/research/global-electricity-review-2023> (accessed 07.06.2024).

25. Monitor the Transition to Low Carbon Energy. URL: <https://lowcarbonpower.org> (accessed 10.06.2024).

26. El Director Ejecutivo se reúne con el Presidente de Brasil Lula para tratar las prioridades energéticas y climáticas del G20 y la COP30. URL: <https://www.iea.org/news/executive-director-meets-with-president-lula-of-brazil-on-energy-and-climate-priorities-for-g20-and-cop30> (accessed 14.06.2024).

27. Ritchie H., Roser M., Rosado P. Renewable Energy. URL: <https://ourworldindata.org/renewable-energy> (accessed 11.06.2024).

28. Manufacturing, value added (constant 2015 US\$). URL: <https://data.worldbank.org/indicator/NV.IND.MANF.KD?locations=AR> (accessed 11.06.2024).

29. Producción de cemento por países 2024. URL: <https://worldpopulationreview.com/country-rankings/cement-production-by-country> (accessed 05.06.2024).

30. State and Trends of Carbon Pricing Dashboard. URL: <https://carbonpricingdashboard.worldbank.org> (accessed 12.06.2024).

31. World Energy and Climate Statistics 2023. URL: <https://www.enerdata.net> (accessed 14.06.2024).

32. GDP (constant 2015 US\$). URL: <https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.MKTP.KD?end=2023&skipRedirection=true&start=2000&view=chart> (accessed 14.06.2024).