



**ANÁLISIS DEL CUMPLIMIENTO DE LAS METAS
DE DESCARBONIZACIÓN PARA LA TRANSICIÓN
ENERGÉTICA SOSTENIBLE EN VIETNAM.**

Autor:

Le Van Hau

Trabajo entregado para la obtención del grado de Master
en Tecnología Ambiental

Modalidad: Investigación

Septiembre de 2024

Directores:

Dr. Ángel Mena Nieto

Dr. José Enrique García Ramos

Learning is not attained by chance; it must be sought for with ardor and diligence.

- Abigail Adams

**Dr. Angel Mena Nieto y Dr. Jose Enrique Garcia Ramos, con
DNIs: 24405423P y 75443776G, profesores del Master en
Tecnología Ambiental,**

INFORMAN:

Que el trabajo titulado **“Análisis del cumplimiento de las metas de descarbonización para la transición energética sostenible en Vietnam”** presentado por **D. Le Van Hau, con NIE Z1219228A**, ha sido realizado bajo nuestra dirección, en el **“Centro de Estudios Avanzados en Física, Matemáticas y Computación (CEAFMC) de la Universidad de Huelva”**. Además, autorizamos su presentación y defensa como **Trabajo Fin de Máster** (Modalidad: Trabajo de Investigación), para el Máster Universitario en Tecnología Ambiental de la Universidad de Huelva.

En Huelva, a 16 de septiembre de 2024

Fdo.: Dr. Ángel Mena Nieto

Fdo.: Dr. José Enrique García Ramos

AGRADECIMIENTOS

Mi viaje académico en España no solo ha sido un camino de aprendizaje, sino también una experiencia profundamente conmovedora, llena de desafíos, crecimiento y numerosos momentos inolvidables. Hoy, al reflexionar sobre este recorrido, me doy cuenta de que este logro no es solo mío, sino que es el resultado del apoyo y la contribución de muchas personas. Por ello, quiero expresar mi más sincero y profundo agradecimiento a todos aquellos que me han acompañado en este viaje.

En primer lugar, quiero expresar mi infinita gratitud al **Banco Santander**, la organización que me otorgó la beca y la oportunidad de perseguir mi sueño de estudiar en España. Para mí, un hijo del delta del Mekong, donde la vida aún enfrenta muchas dificultades y limitaciones, poder estudiar en España era algo que nunca me atreví a imaginar. Pero fue precisamente el apoyo del Banco Santander lo que hizo realidad este sueño. No solo fue una ayuda financiera, esta beca abrió un nuevo mundo, permitiéndome experimentar y descubrir cosas que nunca hubiera imaginado. Este es un regalo invaluable, y siempre recordaré con gratitud esta bondad.

También quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mis directores, el **Dr. Ángel Mena Nieto** y el **Dr. José Enrique García Ramos**. Desde los primeros días en este nuevo entorno, enfrenté muchas dificultades, desde adaptarme a la vida en un país extranjero hasta superar las barreras del idioma. Sin embargo, fue gracias a la guía y apoyo incondicional de mis directores que pude superar todos estos obstáculos. Ellos no solo fueron guías académicos, sino también amigos, quienes siempre me animaron y me hicieron sentir tranquilo y acogido a lo largo de mis estudios. Los valiosos consejos, los momentos de escucha y las charlas compartidas me dieron la confianza y la fortaleza para seguir adelante en mi camino hacia el conocimiento. Siempre atesoraré estos recuerdos, y mis directores serán siempre el modelo a seguir para mí.

En cuanto a mi familia, no puedo expresar con palabras lo agradecido que estoy. Mis padres, mi hermano Trung y mi hermano Phúc siempre han estado a mi lado, sin importar la distancia. El amor y el apoyo de mi familia siempre han sido la mayor fuente de motivación para mí. En los momentos más difíciles, cuando me sentía perdido, fue la confianza y el aliento de mi familia lo que me ayudó a seguir

adelante. Gracias, papá y mamá, por confiar siempre en mí y apoyar cada una de mis decisiones. Gracias, Trung y Phúc, por ser el pilar firme en mi vida. Hoy, lo he logrado, y este éxito es para toda la familia.

Quiero expresar un agradecimiento especial a mi amiga **Thu**, quien ha estado a mi lado durante todo este tiempo, compartiendo alegrías y tristezas.

No puedo dejar de mencionar a **Ngọc** y **Trà**, dos amigas que me han ayudado mucho durante los primeros días en este nuevo entorno.

También quiero agradecer a la familia del señor **Huỳnh**, la señora **Diễm** y **Hoàng** por su constante apoyo durante mi estancia y estudios en España. Su aliento y ayuda me ayudaron a superar las dificultades iniciales y a sentirme más acogido en un país extranjero.

A **David** y **Monica**, la pareja que me ayudó desde los primeros días en Huelva, también les debo un agradecimiento muy especial. En esos momentos de incertidumbre y adaptación, ustedes no dudaron en brindarme su apoyo, orientación y compañía, lo que hizo que esos primeros días fueran más llevaderos y memorables.

Un agradecimiento profundo también va para **Jorge**, un compañero de clase al que aprecio enormemente. Tu apoyo y amistad sincera me hicieron sentir menos solo durante todo mi proceso de aprendizaje y vida en Huelva. En momentos de estrés académico o cuando necesitaba a alguien con quien hablar, tú siempre eras la primera persona a la que acudía.

Finalmente, quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todo el equipo de profesores del programa Master en Tecnología Ambiental. Sus enseñanzas, las discusiones y sus consejos me han ayudado a expandir mis conocimientos y a desarrollarme como persona. Ustedes no solo fueron transmisores de conocimiento, sino también fuentes de inspiración, ayudándome a reconocer el verdadero valor del estudio y la investigación.

Una vez más, quiero expresar mi más profundo agradecimiento a todos aquellos que me han acompañado y apoyado en este viaje. Este éxito no es solo mío, sino de todos aquellos que caminaron conmigo a través de los desafíos y las dificultades.

RESUMEN

Esta investigación analiza el proceso de reducción de emisiones de CO₂ y la transición hacia una energía más sostenible en Vietnam desde 1990 hasta 2020, un período donde se ha producido un aumento significativo en las emisiones de CO₂ debido al rápido crecimiento económico, la urbanización, la expansión de las exportaciones y el desarrollo industrial, particularmente debido a la dependencia de los combustibles fósiles. La metodología aplicada incluye el uso del modelo Kaya extendido para analizar las variaciones en las emisiones de CO₂, desglosadas por tipo de combustible y sector económico, evaluando el impacto de factores como la población, el PIB per cápita, la estructura económica, la intensidad energética, el mix energético y los factores de emisión. Por un lado, el método LMDI permite descomponer dichos factores que impulsan los cambios en las emisiones de CO₂; por otro, el índice de Tapio ayuda a medir el acoplamiento o desacoplamiento entre los aumentos o disminuciones de emisiones de CO₂ y del PIB a lo largo del tiempo.

Los resultados obtenidos para el período de 1990 a 2020, muestran que el consumo de energía primaria se multiplicó por más de cuatro veces, y que, aunque las energías renovables, principalmente la hidroeléctrica y solar crecieron, su contribución es muy pequeña. De modo que, son los combustibles fósiles los que dominan la matriz energética, lo que ha provocado un gran aumento de emisiones. Las emisiones totales de CO₂ de 2020 aumentaron respecto a las de 1990 en 140,09 Mt durante este período. El crecimiento de la población ha contribuido con un aumento de 20,14 Mt de CO₂, el aumento del PIB per cápita un 87,93 Mt, la intensidad energética ha reducido las emisiones en -28,56 Mt, y los cambios en el mix energético las ha aumentado en 60,58 Mt. No obstante, el compromiso de Vietnam es alcanzar emisiones netas cero para el año 2050, lo que subraya la importancia de implementar políticas energéticas y ambientales adecuadas que contribuyan a reducir sus emisiones, pero sin frenar el crecimiento económico que está mejorando la calidad de vida de sus ciudadanos.

ABSTRACT

This research analyses the process of CO₂ emission reduction and the transition towards more sustainable energy in Vietnam from 1990 to 2020. During this period, there has been a significant increase in CO₂ emissions due to rapid economic growth, urbanisation, expansion of exports and industrial development, mainly due to the dependence on fossil fuels. The applied methodology includes the use of the extended Kaya model to analyse variations in CO₂ emissions, broken down by fuel type and economic sector, assessing the impact of factors such as population, GDP per capita, economic structure, energy intensity, energy mix and emission factors. On the one hand, the LMDI method allows decomposing factors that drive changes in CO₂ emissions; on the other hand, the Tapio index helps measure the coupling or decoupling between increases or decreases in CO₂ emissions and GDP over time.

The data collected from 1990 to 2020 indicates a more than fourfold increase in primary energy consumption. Although there has been significant growth in renewable energies, particularly hydroelectric and solar power, their overall contribution remains minimal. Consequently, fossil fuels continue to dominate the energy landscape, resulting in a substantial rise in emissions. Total CO₂ emissions in 2020 increased compared to 1990 by 140.09 Mt during this period. Population growth has contributed to an increase of 20.14 Mt of CO₂, GDP per capita increased by 87.93 Mt, energy intensity has reduced emissions by -28.56 Mt, and changes in the energy mix have increased them by 60.58 Mt. Nevertheless, Vietnam is committed to achieving net-zero emissions by 2050, which underlines the importance of implementing proper energy and environmental policies that contribute to reducing its emissions, but without slowing down the economic growth that is improving the quality of life of its citizens.

LISTA DE FIGURAS

Fig. 1. Evolución de la población y el PIB en Viet Nam. Fuente: World Bank, 2024.....	3
Fig. 2. Comparación del TFC (Consumo Final Total de Energía) por sectores en Vietnam para los años 1990 y 2022. Fuente: World Bank, 2024.....	15
Fig. 3. Esquema de la relación en forma de U invertida entre el PIB per cápita y las emisiones de CO2 per cápita.	24
Fig. 4. Evolución de las energías renovables en Vietnam 1990-2020. Eje izquierdo: "Biocombustibles y desechos" y "Electricidad". Eje derecho: "Viento, solar, etc." Fuente: Agencia Internacional de la Energía (IEA, 2024) e Instituto de Energía (Energy Institute, 2024).	25
Fig. 5. Porcentaje de consumo de energía renovable (izquierda) y consumo de energía primaria en Toe (derecha). Fuente: Agencia Internacional de la Energía (IEA, 2024) e Instituto de Energía (Energy Institute, 2024).....	26
Fig. 6. Cambios en las variables de identidad de Kaya durante 1990-2020. Fuente: Agencia Internacional de la Energía (IEA, 2024) y (World Bank, 2024).	28
Fig. 7. La descomposición LMDI de Viet Nam para todo el período, 1990-2020, aditiva en el panel A y multiplicativa en el panel B.	31
Fig. 8. Evolución de la descomposición aditiva (panel A) y multiplicativa (panel B) del LMDI para Viet Nam durante el período 1990-2020	34
Fig. 9. La intensidad de emisiones para Vietnam, desagregada por sectores, durante el período 1990-2021	40

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Algunos indicadores socioeconómicos de Vietnam.....	4
Tabla 2. Estrategias y políticas importantes para el crecimiento sostenible/bajo en carbono en Vietnam	6
Tabla 3. Resumen de estudios sobre los impulsores de las emisiones de CO ₂ aplicando diversos métodos de descomposición	13
Tabla 4. Criterios para los estados de desacoplamiento	22
Tabla 5. Resultados del desacoplamiento de las emisiones de carbono en el desarrollo económico de Vietnam (1990-2022).	36
Tabla 6. Estimación de los coeficientes de la regresión lineal mediante el método de los mínimos cuadrados.....	39
Tabla 7. Descomposición aditiva LMDI para las variaciones de emisiones de CO ₂ (en toneladas) en Viet Nam en serie anual desde 1990 a 2020	59
Tabla 8. Descomposición multiplicativa LMDI para las variaciones de emisiones de CO ₂ en Viet Nam en serie anual desde 1990 a 2020	60
Tabla 9. Crecimiento de la Población, PIB y PIB per cápita	62
Tabla 10. Consumo de Energía por Fuente (en toe).....	63
Tabla 11. Emisiones de CO ₂ (en toneladas).....	65
Tabla 12. Factores de emisión para combustión. Fuente: IPCC (2006)	66

Nota: Todas las Figuras y Tablas son de elaboración propia, salvo que se indique la fuente.

LISTA DE ACRÓNIMOS

AMDI	Arithmetic Mean Divisia Index	Índice de Divisa Media Aritmética
ASEAN	Association of Southeast Asian Nations	Asociación de Naciones del Sudeste Asiático
CKA	Environmental Kuznets Curve	Curva de Kuznets Ambiental
CO ₂	Carbon dioxide	Dióxido de carbono
FFC	Fossil fuel consumption	Consumo de combustibles fósiles
GDP	Gross domestic product	Producto interno bruto
GDP/PIB	Gross Domestic Product	Producto Interno Bruto
GEI	Greenhouse gases	Gases de efecto invernadero
GtCO ₂ eq	Gigatons of carbon dioxide equivalent	Gigatoneladas de dióxido de carbono equivalente
IDA	Index Decomposition Analysis	Análisis de Descomposición en Índices
IEA	International Energy Agency	Agencia Internacional de la Energía
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change	Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático
kg	Kilogram	Kilogramo
ktoe	Kilotons of oil equivalent	Kilotoneladas de equivalente de petróleo
LMDI	Logarithmic Mean Divisia Index	Índice Divisia Medio Logarítmico
Mtoe	Million metric tons of oil equivalent	Millones de toneladas equivalentes de petróleo
OECD	Organization for Economic Co-operation and Development	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos
RLM	Refined Laspeyres Method	Método Laspeyres Refinado
SDA	Structural Decomposition Analysis	Análisis de Descomposición Estructural
tCO ₂	Ton of CO ₂	Tonelada de CO ₂
TFC	Total final consumption	Consumo final total
Tj	Terajoule	Terajulio
toe	Ton of oil equivalent	Tonelada equivalente de petróleo
TPES	Total primary energy supply	Suministro total de energía primaria
UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático
US\$	United States Dollar	Dólares americanos
WMO	World Meteorological Organization	Organización Meteorológica Mundial
WTO	World Trade Organization	Organización Mundial del Comercio

ÍNDICE

RESUMEN	1
ABSTRACT	2
1. INTRODUCCIÓN	1
2. REVISIÓN DE LA LITERATURA	8
2.1. Uso de energía y emisiones de CO ₂ en Vietnam	15
2.2. Objetivos.....	16
3. MATERIALES Y MÉTODOS	19
3.1 Materiales.....	19
3.2 Metodos.....	19
3.2.1 Formulación del modelo: la identidad de Kaya ampliada	19
3.2.2 El Índice de Divisia Media Logarítmica (LMDI)	20
3.2.3 Modelo de Desacoplamiento de Tapio.....	22
3.2.4 Análisis preliminar del posible cumplimiento de la hipótesis de Kuznets (EKC) en Vietnam.....	23
5. RESULTADOS EMPÍRICOS Y DISCUSIÓN	24
5.1. Consumo de energía y energía renovable.....	24
5.2. Impactos ambientales del consumo de energía en Vietnam.....	27
5.3. Descomposición del CO ₂ aplicando el método LMDI.....	30
5.4. Modelo de Desacoplamiento de Tapio.....	36
5.5. Obtención de los coeficientes de la ecuación de Kuznets.....	38
5.6. Intensidad de emisiones	40
5.7 Implicaciones políticas.....	41
6. CONCLUSIONES	43
7. REFERENCIAS	48
8. ANEXOS	59

Anexo I. Resultados detallados de la descomposición aditiva y de la multiplicativa	59
Anexo II. Datos históricos oficiales de la población, del PIB y emisiones CO₂ y consumo energético de Viet Nam 1990-2022)	62
Anexo III. Factores emisión de diversos tipos de combustibles	66

1. INTRODUCCIÓN

Uno de los mayores problemas que afronta la humanidad es la crisis climática. En el Informe temático sobre la Transición Energética: Hacia el Logro del ODS 7 (energía asequible y no contaminante) y las Emisiones Netas Cero, las Naciones Unidas destacan la necesidad urgente de transitar de un sector energético basado en combustibles fósiles a uno basado en fuentes de energía renovable para cumplir con los objetivos del Acuerdo de París. La necesidad de combatir el cambio climático es la fuerza impulsora detrás de la transición energética, ya que el sector energético es el mayor emisor de gases de efecto invernadero United Nations, (2021).

La transición desde un desarrollo basado en combustibles fósiles a uno basado en gran medida en fuentes de energía renovable es, sin duda, la tarea más importante en la agenda global. El sector energético desempeña un papel clave en la promoción del desarrollo socioeconómico. La importancia de la energía fue destacada en el primer informe de progreso de las Naciones Unidas sobre los Objetivos de Desarrollo Sostenible de 2016. El informe afirma: "la energía es crucial para lograr casi todos los Objetivos de Desarrollo Sostenible, desde su papel en la erradicación de la pobreza mediante avances en salud, educación, suministro de agua e industrialización, hasta la lucha contra el cambio climático" (ECOSOC, 2016, p. 11).

Vietnam, en su camino de rápido crecimiento económico, ha dependido en gran medida de los combustibles fósiles para impulsar su desarrollo e industrialización, tal y como ha sucedido con otras economías emergentes (Banco Mundial & MPI, 2016). Dichas economías en desarrollo afrontan una serie de desafíos como la vulnerabilidad al cambio climático, la seguridad energética y la mitigación del cambio climático. Vietnam se encuentra entre los diez países más afectados por eventos meteorológicos extremos en el período de 1999 a 2018, según el Índice de Riesgo Climático Global 2020 (Eckstein, Kunzel, Schafer, & Wings, 2019). El país ha demostrado su intención de participar en los esfuerzos globales para mitigar el cambio climático. Por ello, Vietnam firmó el Acuerdo de París en 2016 y presentó, según lo programado,

sus Contribuciones Nacionales Determinadas (NDC) actualizadas en 2020 y en 2022. En su última NDC de 2022, Vietnam estableció el objetivo de emisiones netas cero para 2050 (Socialist Republic of Viet Nam, 2022).

Mientras Vietnam se esfuerza por mitigar el cambio climático, también afronta el reto de garantizar la seguridad energética nacional. La dependencia de las importaciones de combustibles fósiles está aumentando, y dichos combustibles están alimentando cada vez más el desarrollo económico del país. Las predicciones sugieren un aumento continuo en el consumo de combustibles fósiles para satisfacer la creciente demanda energética, a menos que Vietnam acelere su transición energética en curso (Electricity and Renewable Energy Authority (EREA) & Danish Energy Agency (DEA), 2019); EREA & DEA, (2022). Para que Vietnam alcance su objetivo de emisiones netas cero en 2050 y participe efectivamente en la mitigación del cambio climático, necesitará descarbonizar su energía, lo que significa que Vietnam tendrá que transitar de un sistema energético basado en combustibles fósiles a uno de bajo carbono.

Se sabe que los cambios en los niveles de CO₂ se ven afectados por el crecimiento de la población, la actividad económica, los avances tecnológicos y el ciclo del carbono (IPCC, 2022). Si bien los ecosistemas naturales son resilientes y se adaptan lentamente al cambio ambiental, la revolución industrial basada en el consumo extensivo de combustibles fósiles ha causado daños ambientales irreversibles (Steffen et al., 2018).

Además, el modelo socioeconómico global existente ha provocado un rápido aumento de los niveles de CO₂ e interrumpido el ciclo global del carbono con implicaciones para el calentamiento global (IPCC, 2022). En respuesta al aumento de los niveles de GEI, se han implementado acciones globales a través del Acuerdo de París en la gran mayoría de los países del mundo mediante el establecimiento de objetivos nacionales de reducción de emisiones. Sin embargo, al igual que la mayoría de los países en desarrollo, Vietnam no ha podido cumplir con sus compromisos de mitigación de GEI hasta ahora, debido a varias razones. Por ejemplo, la economía de Vietnam se encuentra entre las economías regionales de más rápido crecimiento y se encuentra en una

transición constante con ambiciosos objetivos de crecimiento del PIB (World Bank, 2024). La Figura 1 muestra la evolución de la población y el PIB en Vietnam, pudiéndose apreciar que, aproximadamente, la población se ha multiplicado por 1.5 (pasando de 67 millones de personas en 1990 a 97 millones en 2020 y a 99 millones en 2022), mientras que el PIB ha crecido mucho más, multiplicándose por 8 en ese mismo periodo.

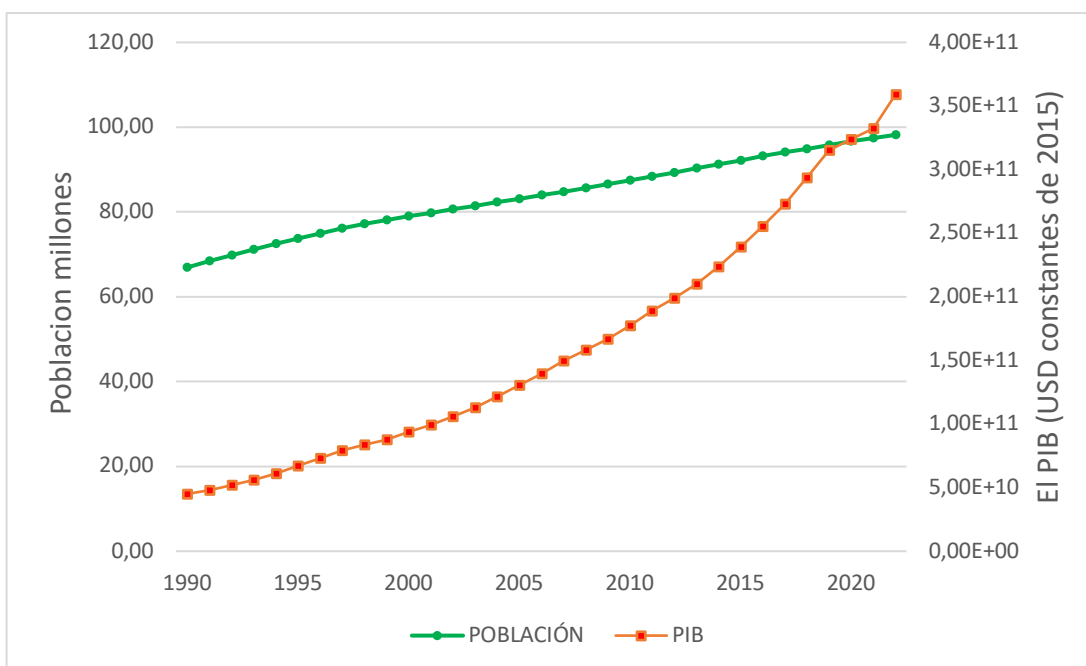


Fig. 1. Evolución de la población y el PIB en Viet Nam. Fuente: World Bank, 2024.

Por otro lado, la Tabla 1 presenta algunos indicadores socioeconómicos clave de Vietnam, como el crecimiento poblacional, el PIB y el consumo de combustibles fósiles, poniendo de manifiesto el reto que enfrenta Vietnam para reducir sus emisiones de CO₂ a pesar de su rápido desarrollo económico.

Tabla 1. Algunos indicadores socioeconómicos de Vietnam.

Año	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020
Población (Millones)	66.91	72.50	79.001	83.14	87.41	92.19	96.64
Tasa de crecimiento del PIB (%)	5.10	9.54	6.79	7.55	6.42	6.99	2.9
PIB, Billones, USD ^a	45.06	66.84	93.53	130.55	177.32	239.26	358.92
GEI por PIB	0.797	0.671	0.599	0.589	0.558	0.480	0.437
Total suministro de energía primaria (Mtoe)	17.388	21.888	28.739	41.294	58.604	63.068	97.225
El consumo de combustibles fósiles (Mtoe)	5.268	8.244	14.716	27.716	39.624	58.035	84.322
Total CO ₂ /PIB	0.147	0.165	0.194	0.247	0.284	0.27	0.293

^aBasado en precios constantes del dólar estadounidense de 2015. Fuente: World Bank, 2024.

Además, Vietnam ha desarrollado una fuerte industria orientada a la exportación para el comercio con los mercados globales, lo que ha llevado a un mayor consumo de recursos energéticos por parte de los sectores industrial y agrícola (IEA, 2023). El avance tecnológico en el país no ha sido comparable al de otras economías regionales como China, Japón y Corea del Sur, posiblemente debido a un uso menos eficiente de sus recursos energéticos y, en consecuencia, a mayores emisiones por unidad de producción económica (Vietnam Energy Efficiency Program, 2022).

Más recientemente, el comercio exterior de Vietnam se ha expandido enormemente gracias a los acuerdos comerciales regionales, como el Tratado de Libre Comercio (2015), que brinda a los fabricantes de Vietnam acceso libre al mercado de la Unión Europea y otros países desarrollados (MoF, 2024). Se espera que ello facilite la expansión de industrias intensivas en energía y orientadas a la exportación, a expensas de un mayor uso de energía y su correspondiente emisión de carbono (ICTSD, 2023). Por lo tanto, se necesita diseñar políticas de mitigación para un crecimiento económico bajo en carbono (World Resources Institute, 2020). Históricamente, las crisis energéticas y los problemas ambientales desde la década de 1970 han sido descritos en la literatura (UNEP, 2023). Algunos estudios han recomendado estrategias para reducir el uso de energía y mejorar la eficiencia energética (REN21, 2024). Sin embargo, los desarrollos recientes en Vietnam apenas han sido analizados en la literatura. Antes de profundizar en los patrones de uso de la energía y las emisiones de carbono en Vietnam, presentamos en la Tabla 2, una breve revisión de las estrategias y políticas clave para un crecimiento sostenible y bajo en carbono en Vietnam.

Tabla 2. Estrategias y políticas importantes para el crecimiento sostenible/bajo en carbono en Vietnam

Política/programa	Detalles/contenido del documento
<i>Programa Objetivo Nacional (2008)</i>	Para responder al cambio climático, se han desarrollado una serie de medidas de mitigación y adaptación en Vietnam, que incluyen la mejora de la eficiencia energética, la promoción de recursos renovables, el aumento de la energía nuclear, y la promoción de la captura y almacenamiento de carbono.
<i>Estrategia Nacional sobre el Cambio Climático (2022)</i>	Para enfocarse más en el uso de tecnologías energéticas avanzadas, mejorar la eficiencia energética, aumentar el uso del transporte público y combustibles más limpios, y la reforestación - Decisión 896/QĐ-TTg de 2022 aprueba la Estrategia Nacional de Cambio Climático hasta 2050.
<i>Plan de desarrollo socioeconómico (2016–2020)</i>	Resolución No. 142/2016/QH13 de la Asamblea Nacional sobre el octavo plan quinquenal de desarrollo socioeconómico de 2016–2020, emitida en abril de 2016.
<i>Estrategia Nacional de Crecimiento Verde (2021–2030, con visión hasta 2050.)</i>	Reducir el consumo de energía primaria por PIB en un 1,0 - 1,5% anual durante el período 2021 - 2030; alcanzar una proporción de energía renovable en el suministro total de energía primaria del 15 - 20%; lograr que la economía digital represente el 30% del PIB; mantener la cobertura forestal en un 42%; y asegurar que al menos el 30% de las áreas de cultivos no permanentes con riego utilicen métodos de riego avanzados y eficientes en el uso del agua. - Decisión No. 1658/QĐ-TTg de fecha 01 de octubre de 2021 sobre la aprobación de la Estrategia Nacional de

Política/programa	Detalles/contenido del documento
	Crecimiento Verde para el período 2021 - 2030,
<i>Estrategia de Desarrollo Sostenible (2011–2020), Estrategia de desarrollo socioeconómico (2011–2020)</i>	Decisión No. 432/QD-TTg aprobada por el Primer Ministro en abril de 2011. 11º Congreso del Partido Comunista de Vietnam aprobado en marzo de 2011.
<i>Orientación hacia 2030</i>	Reducir las emisiones anuales de gases de efecto invernadero (GHG) en al menos un 1.5–2%; reducir GHG en actividades energéticas en un 20–30% en comparación con el estado habitual de negocio.
<i>Orientación hacia 2050</i>	Reducir GHG en un 1.5–2% por año.

2. REVISIÓN DE LA LITERATURA

Dado que el crecimiento económico, la industrialización y el consumo de energía están estrechamente relacionados con el aumento de las emisiones de carbono, muchos estudios se han centrado en examinar los impulsores de las emisiones de CO₂ con la ayuda de herramientas matemáticas (Shah y Zeeshan 2016; Andreoni y Galmarini 2016; Dong et al., 2020). Métodos populares, como la ecuación IPAT (impacto en el medio ambiente es igual al producto de la población, la afluencia y la tecnología) y la identidad de Kaya (una forma extendida de la ecuación IPAT), han sido ampliamente aplicados para calcular las emisiones de dióxido de carbono CO₂ (Rafaj et al., 2014; Liu y Wang 2017; Robalino et al., 2015; Borja-Patiño et al., 2024). Además, el método de descomposición LMDI también se ha empleado ampliamente en combinación con la identidad de Kaya para descomponer los impulsores de las emisiones de CO₂ (Ang y Liu 2001; Jeong y Kim 2013; Karmela et al., 2016; Jiang et al., 2019). La aplicación inicial del análisis de descomposición comenzó a principios de la década de 1970 y se ha convertido en una herramienta importante para estudiar los factores que afectan las emisiones derivadas del uso de energía (Ang 1995). Por ejemplo, varios estudios utilizaron la identidad de Kaya y el enfoque LMDI para descomponer las emisiones de CO₂ a nivel nacional, como en Estados Unidos (Kaivo-oja et al., 2014), China (Wang et al., 2012; Zhang y Wang 2014), India (Ortega-Ruiz et al., 2020), Turquía (Tunc et al., 2009), México (Ozawa et al., 2002) y Etiopía (Taka et al., 2020), y en regiones más grandes como la ASEAN (Chontanawat 2019) y los países del G20 (Yao et al., 2015). Un enfoque similar también se ha adoptado a nivel sectorial (Wang et al., 2019), como las industrias químicas (Lin y Long 2016), industrias pesadas (Boqiang y Liu 2017), sectores manufactureros (Jeong y Kim 2013) y transporte (Shah et al., 2019).

Las organizaciones internacionales han utilizado el método LMDI y la identidad de Kaya para determinar las fuerzas impulsoras detrás de las emisiones de gases de efecto invernadero a escalas global y regional (IPCC 2014). Además, la literatura existente en esta área ha confirmado la solidez de la identidad de Kaya y el marco LMDI en diferentes niveles de análisis (regional, nacional y sectorial) y al incorporar una variedad de variables como la intensidad

energética, la riqueza económica, el mix energético, la intensidad de carbono y la población (Mavromatidis et al., 2016). Asimismo, la flexibilidad para agregar nuevas variables a través del enfoque de la identidad de Kaya y LMDI también es considerable. Por ejemplo, variables como el efecto de la estructura industrial (Li et al., 2015), el efecto del mix de combustibles (Chontanawat 2018), el efecto de la actividad (Karmela et al., 2016) y el efecto de la transformación energética (Kaivo-oja et al., 2014) han sido estudiados en diferentes contextos, destacando la versatilidad de este enfoque. Alternativas al método LMDI incluyen el método del IPCC (IPCC 2014), el método STIRPAT (Fu et al., 2015; Zhang et al. 2017) y el análisis de varianza (Pani y Mukhopadhyay, 2011, 2013), con el método STIRPAT ganando prominencia en la literatura. Ejemplos de su aplicación incluyen los países de la OCDE (Mensah et al., 2018) y las economías BRICS (Wang et al., 2016).

Para un resumen de los estudios sobre los impulsores de las emisiones de CO₂ utilizando diferentes métodos de descomposición, puede verse la Tabla 3. Basado en la revisión de la literatura, es evidente que el uso de un conjunto de variables (que afectan las emisiones de CO₂) podría ser beneficioso para entender tanto sus impulsores principales como secundarios, y que la descomposición LMDI de la identidad de Kaya es un enfoque preferido. Siguiendo este método, no solo se podrían identificar los impulsores principales de las emisiones de CO₂, sino que también se podría ampliar su alcance para evaluar y diseñar posibles políticas para el desarrollo bajo en carbono.

El crecimiento económico tiene un impacto directo en las emisiones de CO₂ de un país. La mayoría de la literatura indica que la relación entre el crecimiento económico y las emisiones de CO₂ se establece a través del uso de energía y está influenciada por la eficiencia energética, la promoción de energías renovables y la estructura productiva. La Curva Ambiental de Kuznets (EKC en la literatura en inglés) formulada por Kuznets (1955), fue utilizada a principios de la década de 1990, por Shafik y Bandyopadhyay (Shafik et al., 1992), Panayotou (1993) y Grossman et al., (1995). Según la hipótesis de Kuznets, la relación entre el PIB per cápita y algunos tipos de contaminación sigue una curva en forma de U invertida. Esto significa que a medida que crece el PIB per cápita, el daño

ambiental aumenta, alcanza un máximo y luego disminuye. La razón de este comportamiento es que cuando el PIB alcanza cierto umbral, la economía entra en un régimen diferente, donde la tasa de emisiones en relación con los ingresos per cápita puede reducirse en comparación con el régimen inicial. En la etapa inicial, en la que se encuentran los países en desarrollo, las emisiones de CO₂ aumentan proporcionalmente al tamaño de la economía, ya que las industrias son relativamente rudimentarias, ineficientes y contaminantes. En la segunda etapa, el impacto de la economía en la degradación ambiental se reduce debido a los cambios en la estructura económica sectorial, ya que el crecimiento económico induce cambios estructurales. Por ejemplo, esto sucede cuando una economía basada en la agricultura se transforma en una economía basada en la manufactura y los servicios. Finalmente, la tercera etapa aparece cuando los países invierten intensamente en investigación y desarrollo, y las tecnologías sucias y obsoletas son reemplazadas por tecnologías limpias. En este punto, la contaminación comienza a disminuir en función del PIB. El estudio de la hipótesis EKC investiga la relación entre el PIB y las emisiones de CO₂, y también considera la validación de la EKC. Así, Narayan y Narayan (2010) analizaron la relación entre las emisiones de CO₂ y el crecimiento económico en un grupo de 43 países en desarrollo, durante el período 1980-2004, encontrando que en el 35% de la muestra, las emisiones de CO₂ disminuyeron a largo plazo, lo que confirma que estos países están acercándose a la fase descendente de la EKC. Un estudio similar fue realizado para un grupo de 69 países por Ibrahim y Lawdurante (2014) para el período 2000-2008, utilizando el método de momentos generalizados. El artículo presenta evidencias que refuerzan la presencia de la EKC. Jaunky (2011) probó la hipótesis EKC para 35 países de altos ingresos durante el período 1980-2005., aplicando varios tests y pruebas de cointegración. Los estudios empíricos proporcionan pruebas de cumplimiento de la EKC en varios países, pero en otros no. Por ejemplo, Esteve y Tamarit (2012) estudiaron la hipótesis EKC en el caso de España durante el período 1857-2007, encontrando que si se cumple la hipótesis de Kuznets (EKC) en España. Una revisión de la literatura muestra una relación a largo plazo que vincula el crecimiento del ingreso y las emisiones, y las investigaciones recientes han evaluado esta relación utilizando técnicas de cointegración. La evidencia empírica sugiere que el PIB y los niveles de contaminación pueden estar

determinados conjuntamente, por lo que cualquier restricción sobre el consumo de energía para reducir las emisiones tendrá efectos sobre el crecimiento económico. Algunos autores, como Soytas et al., (2001), Soytas y Sari (2003), Lee (2005), Lise (2006), Chontanawat et al., (2008), Halicioglu (2009), Ozturk y Acaravci, (2010), Alam et al., (2010), Fosten et al., (2013), y Shahbaz et al., (2012, 2013), entre otros, utilizan procedimientos de cointegración para examinar la relación entre el CO₂ y los ingresos. Todos estos estudios se centraron en el análisis de evidencias del pasado.

Esta crisis de degradación ambiental y el consumo excesivo de combustibles fósiles se han convertido en preocupaciones clave en las sociedades modernas, por lo que se hace necesario analizar el grado de desacoplamiento entre el crecimiento económico y la degradación ambiental, de modo que sea posible que un país o una economía sea capaz de desarrollarse sin causar un daño ambiental simultaneo (Wang y Jiang, 2019). Esta idea fue introducida por primera vez por Von Weizsacker (1990), sin embargo, fue Zhang (2000) quien familiarizó esta idea aplicándola a China. Más tarde, la OCDE (2002) clasificó el desacoplamiento en dos tipos: grado de desacoplamiento relativo y desacoplamiento absoluto. Posteriormente, Juknys (2003) clasificó el estado de desacoplamiento en tres categorías: etapa inicial, segunda etapa y doble etapa, para estimar las regiones de economía desacoplada. Basándose en las ideas de Vehmas et al., (2003), fue Tapio (2005) quien sugirió un marco para evaluar la relación entre las emisiones de carbono y el PIB en el sector del transporte de quince países de la Unión Europea entre el período de 1970 a 2001. Posteriormente, los investigadores han aplicado repetidamente el método de desacoplamiento de Tapio. Por ejemplo, Wu et al., (2018) estudiaron analíticamente el proceso del indicador de desacoplamiento y encontraron que el modelo de Tapio proporciona resultados muy interesantes. Debido a la clasificación de tres estados de desacoplamiento en ocho probabilidades razonables, el modelo de Tapio se hizo muy popular. En consecuencia, ha sido aplicado por varios investigadores contemporáneos para estimar el desarrollo económico y las emisiones de carbono (Ren y Hu 2012). Por ejemplo, Dong et al., (2016) utilizaron el modelo de Tapio para determinar la situación de desacoplamiento entre el uso de energía y el progreso económico en la región

de Liaoning. Al identificar cuatro condiciones de desacoplamiento, como débil, fuerte, expansivo y expansivo negativo, llegaron a la conclusión de que el componente de intensidad energética era un fenómeno común en la introducción del desacoplamiento en la región de Liaoning.

Wang et al., (2016) examinaron la relación de desacoplamiento entre el avance industrializado y la contaminación por carbono en Taiwán. Llegaron a la conclusión de que el desarrollo industrial y las emisiones de carbono mostraron un desacoplamiento opuesto entre 2007 y 2009, pero un desacoplamiento más evidente entre 2009 y 2013. Además, concluyeron que el exceso de consumo de energía fue un contribuyente fundamental al desacoplamiento.

Wu et al., (2018) utilizaron el modelo Tapio para descubrir las tendencias de desacoplamiento entre el progreso económico mundial y las emisiones de carbono. Concluyeron que las naciones emergentes mostraron un desacoplamiento débil, mientras que las naciones de altos ingresos mostraron un desacoplamiento fuerte. En un estudio comparativo entre las Naciones Unidas y la República Popular China, Wang et al., (2018) encontraron que China experimentó un acoplamiento expansivo junto con un desacoplamiento débil en la mayoría de los períodos, mientras que las Naciones Unidas solo experimentaron un desacoplamiento débil desde el año 2000 hasta 2014. En otro estudio, Pao y Chen (2019) examinaron las estrategias de desacoplamiento para analizar el uso de energía, las emisiones de carbono y el desarrollo económico en el G-20. Los resultados del estudio mostraron un efecto de desacoplamiento absoluto entre la degradación ambiental y el desarrollo económico. Una muestra de estos últimos estudios aparece recogida al final de la Tabla 3.

Este estudio puede servir como una guía para otros países en desarrollo, ya que los estudios específicos de un país pueden ayudar a los responsables políticos a crear políticas integrales para controlar la degradación ambiental en países con similares características

Tabla 3. Resumen de estudios sobre los impulsores de las emisiones de CO2 aplicando diversos métodos de descomposición

Autores	Método Aplicado	País o Países	Periodo Estudiado
Shah, Zeeshan (2016)	Herramientas Matemáticas	Pakistán	2014
Andreoni, Galmarini (2016)	Herramientas Matemáticas	33 países	1995-2007
Dong et al., (2020)	Herramientas Matemáticas	N/A	1997-2015
Rafaj, Amann, Siri (2014)	IPAT, Identidad de Kaya	Europe	2005-2020
Liu, & Wang. (2017)	IPAT, Identidad de Kaya	China	N/A
Robalino et al., 2015	IPAT, Identidad de Kaya	Venezuela	1980-1925
Borja et al., (2024)	IPAT, Identidad de Kaya	Ecuador	1990-2018
Ang, Liu (2001)	LMDI, Identidad de Kaya	N/A	N/A
Jeong, Kim (2013)	LMDI, Identidad de Kaya	Korea	1991-2009
Sumabat et al., (2016)	LMDI, Identidad de Kaya	Filipin	1991-2014
Jiang, Li & Wu (2019)	LMDI, Identidad de Kaya	USA	N/A
Kaivo-oja et al., (2014)	LMDI, Identidad de Kaya	China	N/A
Wang et al., (2012)	LMDI, Identidad de Kaya	China	1998-2008
Zhang & Wang (2014).	LMDI, Identidad de Kaya	China	N/A
Ortega-Ruiz et al., (2020)	LMDI, Identidad de Kaya	India	1990-2016
Tunc et al., (2009)	LMDI, Identidad de Kaya	Turquía	1970-2006
Ozawa et al., (2002)	LMDI, Identidad de Kaya	México	1980-1998
Taka et al., (2020)	LMDI, Identidad de Kaya	Etiopía	1990-2015

Autores	Método Aplicado	País o Países	Periodo Estudiado
Chontanawat (2019)	LMDI, Identidad de Kaya	ASEAN	1990-2014
Yao et al., (2015)	LMDI, Identidad de Kaya	Países del G20	1990-2012
Wang et al., (2019)	LMDI, Identidad de Kaya	USA	1995-2016
Mensah et al., (2018)	STIRPAT	Países de la OCDE	1990-2014
Wang et al., (2016)	STIRPAT	Economías BRICS	1990-2011
Li et al., (2015)	LMDI, Identidad de Kaya	China	1990-2010
Chontanawat (2019)	LMDI, Identidad de Kaya	ASEAN	1990-2014
Karmela et al., (2016)	LMDI, Identidad de Kaya	Filipina	1990-2013
Kaivo-oja et al., (2014)	LMDI, Identidad de Kaya	Global	1990-2010
Esteve y Tamarit (2012)	EKC (CO ₂ -PIB)	España	1857-2007
Narayan and Narayan (2010)	EKC (CO ₂ -PIB)	43 países	1980-2004
Jaunky (2010)	EKC (CO ₂ -PIB)	36 países	1980-2005
Tapio (2005)	Modelo Tapio	15 países	1970-2001
Wu et al., (2018)	Modelo Tapio	Global	N/A
Wang et al., (2016)	Modelo Tapio	Taiwan	2007-2013
Dong et al., (2016)	Modelo Tapio	China	N/A
Wu et al., (2018)	Modelo Tapio	Global	N/A
Wang et al., (2018)	Modelo Tapio	China	2000-2014
Pao y Chen (2019)	Modelo Tapio	G-20	N/A

2.1. Uso de energía y emisiones de CO₂ en Vietnam

Con el rápido desarrollo económico, la escala de la degradación ambiental en Vietnam también es considerable (Shahbaz et al., 2019). En particular, el aumento de las emisiones de CO₂, debido al mayor consumo de energía, se ha visto agravado por el rápido desarrollo económico en Vietnam. Tal y como se muestra en la Figura 2, el TFC (Consumo Final Total de Energía) por sector en Vietnam para los años 1990 y 2022, el uso de energía para la industria y la generación de energía se ha convertido en el principal consumidor de energía en el país. En Vietnam, los combustibles fósiles ahora tienen una participación abrumadora en el suministro neto de energía; por lo tanto, la reducción del impacto a través de recursos de energía renovable parece altamente favorable en esta situación (Al-Mulali et al., 2015). Sin embargo, se requiere más investigación en esta área para encontrar tecnologías de energía renovable económicamente viables que mejoren la mix energético nacional.

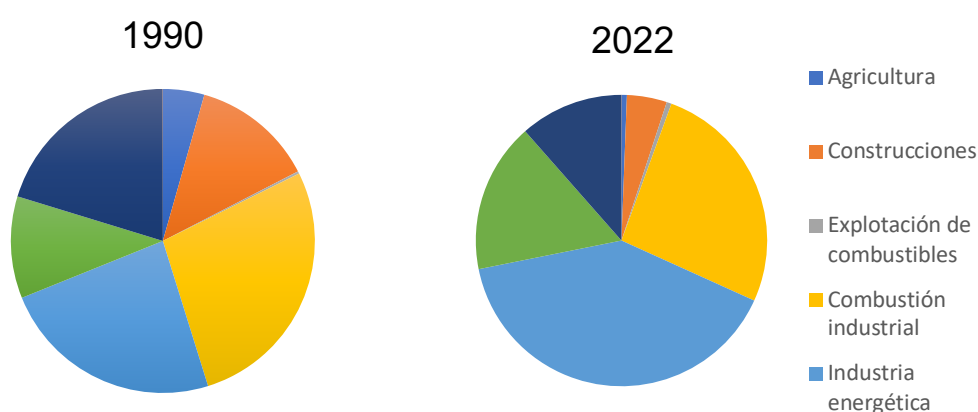


Fig. 2. Comparación del TFC (Consumo Final Total de Energía) por sectores en Vietnam para los años 1990 y 2022. Fuente: World Bank, 2024.

Las reformas económicas y la industrialización desde la década de 1980 en Vietnam ha reformado notablemente su estructura económica, productividad industrial y niveles de vida. Además, Vietnam ha logrado grandes avances en el desarrollo económico y ha establecido relaciones comerciales con muchos países del mundo, incluidos EE. UU., China, Corea del Sur, Japón y varios países africanos. Este éxito diplomático ha ayudado a Vietnam a formar parte de

importantes iniciativas multipartitas regionales como la ASEAN (desde 1995) y la OMC (desde 2007), logrando así grandes beneficios económicos con el comercio global durante las últimas dos décadas (Perkins y Anh 2009). Por lo tanto, 1990-2021 es un período interesante para Vietnam, que ha presenciado tanto crecimiento económico como períodos de recesión económica (crisis financiera de 2008).

Existen pocos estudios sobre Vietnam que hayan analizado las emisiones de carbono. Por ejemplo, Nguyen et al. (2018) utilizaron un análisis estructural input-output para descomponer las emisiones de CO₂ desde una perspectiva de producción-consumo. Sin embargo, dado que las tablas input-output se publican generalmente cada 5 años, el análisis no cubría transacciones anuales individuales. Además, los efectos de la intensidad de emisiones y la mezcla de combustibles también fueron completamente ignorados. Otro estudio (Anh, 2012) utilizó la descomposición estructural de la identidad de Kaya para el período 1986-2008. Sin embargo, este estudio también ignoró el impacto de la mezcla de combustibles en las emisiones de CO₂, ya que se han producido cambios significativos en la mezcla de combustibles especialmente durante las décadas de 1990 y 2000 (Shem et al., 2019). Otro estudio (Sandu et al., 2019) exploró los impulsores de las emisiones de CO₂ en los países de la ASEAN (incluyendo Vietnam); sin embargo, al igual que otros estudios regionales, los conocimientos y las implicaciones específicas de cada país eran insuficientes. Además, la mayoría de los estudios previos han pasado por alto los cambios en las emisiones de CO₂ desde una perspectiva macro-política y de desarrollo económico bajo en carbono, un objetivo adicional que este estudio pretende lograr.

2.2. Objetivos

Una vez que hemos recopilado la literatura más actualizada sobre el análisis de la relación entre las emisiones de CO₂ y el PIB para diferentes países, utilizando alguna de las versiones de los métodos IDA, notamos que todavía es necesario responder a ciertas lagunas (gaps) en la literatura existente. Específicamente:

1. Extender el análisis a un período de tiempo más largo para obtener una visión sobre el impacto de los diferentes impulsores a lo largo del tiempo.
2. Realizar una desagregación más detallada para los diferentes tipos de sectores económicos y combustibles en Viet Nam.
3. Aclarar el efecto del tamaño de los sectores económicos sobre la cantidad de emisiones de CO₂ en Viet Nam.
4. Proporcionar una visión más clara de la evolución a lo largo del tiempo de las fuerzas impulsoras del CO₂ al referir los valores de LMDI a un solo año de referencia, además de presentar su cambio relativo año tras año en Viet Nam.

Por tanto, este estudio puede ser útil para arrojar luz sobre ciertas preguntas:

1. ¿Es la intensidad energética el factor clave en la reducción de las emisiones de CO₂ en Vietnam?
2. ¿Cómo se puede gestionar la alta demanda energética en un país como Vietnam para moderar el aumento de las emisiones de CO₂?
3. ¿Es inevitable el aumento de las emisiones de CO₂ en un escenario de crecimiento constante del PIB?
4. ¿Son suficientes los esfuerzos del Gobierno de Vietnam para incentivar las energías renovables?
5. ¿Cómo está evolucionando la intensidad de CO₂ en Vietnam?

Todas estas preguntas son abordadas a lo largo de este trabajo, el cual tiene como objetivos principales:

- A. Presentar los datos oficiales de la evolución histórica de los indicadores socioeconómicos y energéticos ambientales en Viet Nam desde 1990 hasta 2020 (ya expuesto en la Introducción).
- B. Realizar una revisión de la literatura sobre los estudios que han analizado las relaciones entre las emisiones de CO₂, el PIB y la población en diversos países. utilizando los métodos LMDI, Kaya y Tapio ((ya expuesto en la Introducción).
- C. Calcular los valores de las variables de la identidad Kaya que contribuyen al aumento y la disminución de las emisiones en Vietnam, lo largo del periodo 1990-2020,

- D. Obtener los resultados de la descomposición aditiva y multiplicativa de la aplicación del método LMDI.
- E. Analizar la evolución del porcentaje de energía renovable en Viet Nam desde 1990 a 2020.
- F. Obtener el índice de Tapio para el periodo 1990-2020.
- G. Presentar un análisis previo y preliminar del posible cumplimiento de la hipótesis de Kuznets
- H. Extraer conclusiones e implicaciones políticas de los resultados obtenidos.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Materiales

Las emisiones de CO₂ en Vietnam se extrajeron de las bases de datos de la Agencia Internacional de la Energía (IEA, 2024) y del Instituto de Energía (Energy Institute, 2024), abarcando el período de 1990 a 2020. Además, algunas estadísticas sobre energía fueron obtenidas de los informes nacionales de energía del Ministerio de Industria y Comercio de Vietnam (Ministry of Industry and Trade, MIT, 2023). Por otro lado, los datos socioeconómicos, que incluyen estadísticas de población, valores del Producto Interno Bruto (PIB) y tasas de crecimiento del PIB, se obtuvieron de la base de datos del Banco Mundial (World Bank, 2024).

3.2 Metodos

3.2.1 Formulación del modelo: la identidad de Kaya ampliada

El modelo para calcular las emisiones de CO₂ provenientes de energía fósil corresponde a una relación que es una extensión de la identidad de Kaya original donde desagregamos por tipo de combustible y sector económico y está basado al utilizado en las referencias Robalino-López et al. (2014a), (2014b), (2015). Según la identidad de Kaya, la cantidad de emisiones de CO₂ provenientes de la industria y otros usos de energía pueden estudiarse cuantificando las contribuciones de seis factores diferentes: población, valor agregado por habitante, estructura económica, intensidad energética, mezcla energética y factores de emisión de CO₂. Las emisiones de CO₂ pueden expresarse como:

$$C = \sum_{ij} C_{ij} = \sum_{ij} P \frac{Q}{P} \frac{Q_i}{Q} \frac{E_i}{Q_i} \frac{E_{ij}}{E_i} \frac{C_{ij}}{E_{ij}} = P \cdot q \sum_{ij} S_i \cdot EI_i \cdot M_{ij} \cdot U_{ij} \quad (1)$$

donde C es la emisión total de CO₂ de Vietnam en un año dado; C_{ij} es la emisión de CO₂ derivada del combustible de tipo j en el sector económico i; P es la población de Vietnam; Q es el PIB total del país; Q_i es el PIB del sector i; q es el PIB per cápita en Vietnam; S_i es la participación del sector i en el PIB del país; E_i es el consumo de energía en el sector i; E_{ij} es el consumo del combustible j en el sector i; la intensidad energética en el sector i está dada por $EI_i \left(\frac{E_i}{Q_i} \right)$, el mix

energético viene dado por $E_{ij} \left(\frac{E_{ij}}{E_i} \right)$ que representa la participación del uso de energía de tipo j en el sector i. Finalmente, el factor de emisión de CO₂ está dado por $U_{ij} \left(\frac{C_{ij}}{E_{ij}} \right)$. A lo largo de este documento, como convención, siempre nos referiremos al sector con el índice i y al tipo de fuente de energía con el índice j. Las fuerzas impulsoras que aparecen en la ecuación (1) están bien respaldadas en la literatura (Yeo et al., 2015; Wang y Li, 2016; Yang et al., 2020).

3.2.2 El Índice de Divisia Media Logarítmica (LMDI)

Existe un amplio conjunto de métodos de descomposición basados en LMDI (ver Sección 3), pero entre ellos, utilizaremos el LMDI-I debido a varias de sus características, a saber, satisface la prueba de reversión de factores, es decir, no hay un término residual en los resultados, la fórmula de descomposición tiene una forma relativamente simple, siendo la misma independientemente del número de factores involucrados en la descomposición, y ambas versiones del modelo, la multiplicativa y la aditiva están conectadas de manera directa. El objetivo de este método es escribir el valor de la cantidad agregada en un año dado, t, con respecto a uno de referencia como la suma o producto de las contribuciones de las fuerzas impulsoras, lo cual corresponde, en el caso de la descomposición aditiva a,

$$\Delta C(t) = C(t) - C(0) = \Delta C_{pop}(t) + \Delta C_{pib}(t) + \Delta C_{int}(t) + \Delta C_{mix}(t) + \Delta C_{emission}(t) \quad (2)$$

Donde $\Delta C_{pop}(t)$, $\Delta C_{pib}(t)$, $\Delta C_{int}(t)$, $\Delta C_{mix}(t)$, $\Delta C_{emission}(t)$ deben entenderse como las variaciones de CO₂ debido al cambio en la población, el cambio en el PIB per cápita, el cambio en la intensidad energética, el cambio en el mix energético y el cambio en el factor de emisión, respectivamente. El valor de estas contribuciones proporcionadas por el LMDI (Ang y Choi, 1997) se puede escribir como

$$\Delta C_{pop}(t) = \sum_{ij} \frac{C_{ij(t)} - C_{ij(0)}}{\ln C_{ij(t)} - \ln C_{ij(0)}} \ln \frac{P(t)}{P(0)}, \quad (3)$$

$$\Delta C_{pib}(t) = \sum_{ij} \frac{C_{ij(t)} - C_{ij(0)}}{\ln C_{ij(t)} - \ln C_{ij(0)}} \ln \frac{q(t)}{q(0)}, \quad (4)$$

$$\Delta C_{int}(t) = \sum_{ij} \frac{c_{ij(t)} - c_{ij(0)}}{\ln c_{ij(t)} - \ln c_{ij(0)}} \ln \frac{EI_i(t)}{EI_i(0)}, \quad (5)$$

$$\Delta C_{mix}(t) = \sum_{ij} \frac{c_{ij(t)} - c_{ij(0)}}{\ln c_{ij(t)} - \ln c_{ij(0)}} \ln \frac{M_{ij}(t)}{M_{ij(0)}}, \quad (6)$$

$$\Delta C_{emission}(t) = \sum_{ij} \frac{c_{ij(t)} - c_{ij(0)}}{\ln c_{ij(t)} - \ln c_{ij(0)}} \ln \frac{U_{ij}(t)}{U_{ij(0)}}, \quad (7)$$

También es posible realizar la descomposición de manera multiplicativa:

$$D(t) = \frac{C(t)}{C(0)} = D_{pop}(t) \cdot D_{pib}(t) \cdot D_{int}(t) \cdot D_{mix}(t) \cdot D_{emission}(t) \quad (8)$$

donde $D_{pop}(t) \cdot D_{pib}(t) \cdot D_{int}(t) \cdot D_{mix}(t) \cdot D_{emission}(t)$ deben entenderse como las variaciones relativas de CO₂ debido al cambio en la población, el cambio en el PIB per cápita, el cambio en la intensidad energética, el cambio en el mix energenico y el cambio en el factor de emisión, respectivamente. El valor de estas contribuciones proporcionadas por el LMDI (Ang y Choi, 1997) son:

$$D_{pop}(t) = \exp \left(\sum_{ij} \frac{\frac{c_{ij(t)} - c_{ij(0)}}{\ln c_{ij(t)} - \ln c_{ij(0)}}}{\frac{C(t) - C(0)}{\ln C(t) - \ln C(0)}} \ln \frac{P(t)}{P(0)} \right) \quad (9)$$

$$D_{pib}(t) = \exp \left(\sum_{ij} \frac{\frac{c_{ij(t)} - c_{ij(0)}}{\ln c_{ij(t)} - \ln c_{ij(0)}}}{\frac{C(t) - C(0)}{\ln C(t) - \ln C(0)}} \ln \frac{q(t)}{q(0)} \right) \quad (10)$$

$$D_{int}(t) = \exp \left(\sum_{ij} \frac{\frac{c_{ij(t)} - c_{ij(0)}}{\ln c_{ij(t)} - \ln c_{ij(0)}}}{\frac{C(t) - C(0)}{\ln C(t) - \ln C(0)}} \ln \frac{EI_i(t)}{EI_i(0)} \right) \quad (11)$$

$$D_{mix}(t) = \exp \left(\sum_{ij} \frac{\frac{c_{ij(t)} - c_{ij(0)}}{\ln c_{ij(t)} - \ln c_{ij(0)}}}{\frac{C(t) - C(0)}{\ln C(t) - \ln C(0)}} \ln \frac{M_{ij}(t)}{M_{ij(0)}} \right) \quad (12)$$

$$D_{emission}(t) = \exp \left(\sum_{ij} \frac{\frac{c_{ij(t)} - c_{ij(0)}}{\ln c_{ij(t)} - \ln c_{ij(0)}}}{\frac{C(t) - C(0)}{\ln C(t) - \ln C(0)}} \ln \frac{U_{ij}(t)}{U_{ij(0)}} \right) \quad (13)$$

Es importante tener en cuenta que todas las cantidades presentadas corresponden a una magnitud agregada que abarca todos los sectores y tipos de energía. Sin embargo, también es posible definir dichas cantidades para un sector específico o un tipo de energía en particular, simplemente limitando la suma dentro de las ecuaciones al rango adecuado. Además, las expresiones que siguen incorporan una dependencia explícita del tiempo, lo que permite estudiar la evolución temporal de las fuerzas impulsoras. En caso de que la contribución de emisiones fuese cero, esto reflejaría que, independientemente del sector o

tipo de energía considerado, no se generan emisiones, ya sea por falta de actividad o por un equilibrio en todas las fuerzas impulsoras.

3.2.3 Modelo de Desacoplamiento de Tapio

Según Tapio (2005), el índice de desacoplamiento de Tapio entre las emisiones de CO₂ debidas al consumo de energía y el crecimiento económico (medido mediante el PIB) en un período de tiempo base (0) y un período de tiempo objetivo (t) puede calcularse con la siguiente ecuación:

$$D_{CO_2.GDP} = \frac{\Delta CO_2}{\Delta GDP} = \frac{\frac{CO_2^t - CO_2^0}{CO_2^0}}{\frac{GDP^t - GDP^0}{GDP^0}} = \frac{\frac{\Delta CO_2}{CO_2^0}}{\frac{\Delta GDP}{GDP^0}} = \frac{\Delta CO_2 \times GDP^0}{CO_2^0 \times \Delta GDP} = \Delta CO_2 \times \frac{GDP^0}{CO_2^0 \times \Delta GDP} \quad (14)$$

En la ecuación anterior, GDP son las siglas en ingles de PIB $D_{CO_2.GDP}$, ΔCO_2 , ΔGDP , CO_2^0 , GDP^0 , CO_2^t y GDP^t representan respectivamente el índice de Tapio, la tasa de crecimiento de las emisiones de carbono, la tasa de crecimiento del producto interno bruto, las emisiones de CO₂ y el producto interno bruto en el año inicial (0) y en el año t. Los valores establecidos por Tapio y, más tarde, ampliados por Vehmas et al. (2007) para los ocho diferentes posibles estados de desacoplamiento se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4. Criterios para los estados de desacoplamiento

Negativo fuerte	Negativo expansivo	Expansivo	Débil
$\Delta CO_2 > 0$	$\Delta CO_2 > 0$	$\Delta CO_2 > 0$	$\Delta CO_2 > 0$
$\Delta gdp < 0$	$\Delta gdp > 0$	$\Delta gdp > 0$	$\Delta gdp > 0$
$D_{CO_2.gdp} < 0$	$D_{CO_2.gdp} > 1,2$	$0,8 < D_{CO_2.gdp} < 1,2$	$0 < D_{CO_2.gdp} < 0,8$
Negativo débil	Acoplamiento regresivo	Recesivo	Fuerte
$\Delta CO_2 < 0$	$\Delta CO_2 < 0$	$\Delta CO_2 < 0$	$\Delta CO_2 < 0$
$\Delta gdp < 0$	$\Delta gdp < 0$	$\Delta gdp < 0$	$\Delta gdp > 0$
$0 < D_{CO_2.gdp} < 0,8$	$0,8 < D_{CO_2.gdp} < 1,2$	$D_{CO_2.gdp} > 1,2$	$D_{CO_2.gdp} < 0$

3.2.4 Análisis preliminar del posible cumplimiento de la hipótesis de Kuznets (EKC) en Vietnam.

A continuación, vamos a analizar de una forma muy simplificada el posible cumplimiento de la hipótesis de la curva ambiental de Kuznets (EKC) en Vietnam. Para ello, planteamos la siguiente ecuación lineal que relaciona las variables, emisiones de CO₂ y el PIB en Viet Nam:

$$LCO_2 = \mu_0 + \mu_1 LGDP_t + \varepsilon_t \quad (15)$$

Donde LCO_2 es el logaritmo natural de las emisiones de CO₂, mientras que $LGDP$ es el logaritmo natural del PIB. μ_0 es el término independiente, μ_1 estima la elasticidad CO₂-PIB, y ε_t es un término de error.

Si se analiza la Fig. 3, la etapa de menor respeto ambiental corresponde a $\mu_1 > 1$ y, se corresponde a la etapa 1. En ella, los aumentos en el PIB inducen aumentos importantes en las emisiones de CO₂. En general, los países permanecen en esta fase en las primeras etapas de su desarrollo industrial.

Si $0 < \mu_1 < 1$, entonces los aumentos en el PIB (GDP) genera también aumentos, pero mucho menores en las emisiones. En esta segunda etapa, el país entra una estabilización ambiental.

Finalmente, si $\mu_1 < 0$, ello supone que cualquier aumento en el PIB provoca una disminución en las emisiones de CO₂. Esta es la etapa final de la EKC y significaría que el país se está moviendo hacia una situación de uso intensivo de tecnologías sostenibles donde el aumento del PIB se puede lograr sin provocar aumentos de las emisiones. En suma, la etapa 1 corresponde a un rápido crecimiento de las emisiones, la etapa 2 a la fase de estabilización, y la etapa 3 a la reducción de las emisiones de CO₂ a medida que el país se desarrolla económicamente.

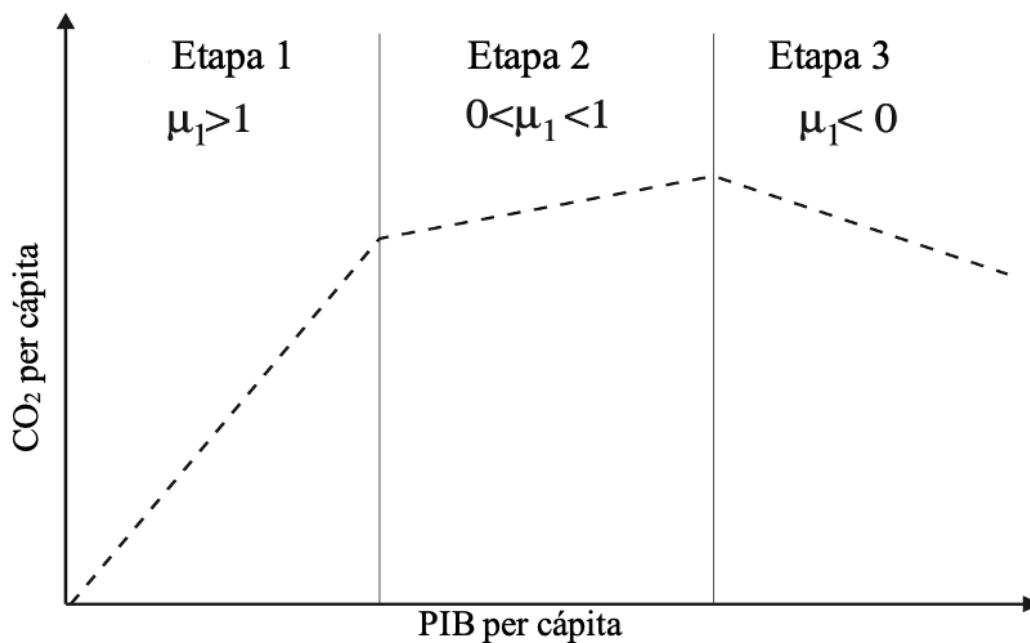


Fig. 3. Esquema de la relación en forma de U invertida entre el PIB per cápita y las emisiones de CO₂ per cápita.

5. RESULTADOS EMPÍRICOS Y DISCUSIÓN

5.1. Consumo de energía y energía renovable

Dado su impacto significativo sobre la reducción de las emisiones de CO₂, al tratarse de fuentes de energía con nulas emisiones de CO₂, es crucial examinar en detalle la contribución de las energías renovables a la matriz energética de Vietnam.

La figura 4 muestra su evolución desde 1990 a 2022, poniéndose de manifiesto la preponderancia de la energía eléctrica (línea naranja) de origen hidráulico y de la procedente biocombustibles y desechos (línea azul), frente al resto (solar, eólica, etc.). De hecho, hemos tenido que representar en la parte inferior de la figura 4 (eje derecho) sus pequeños valores comparados con los de los otros dos tipos de energía renovable.

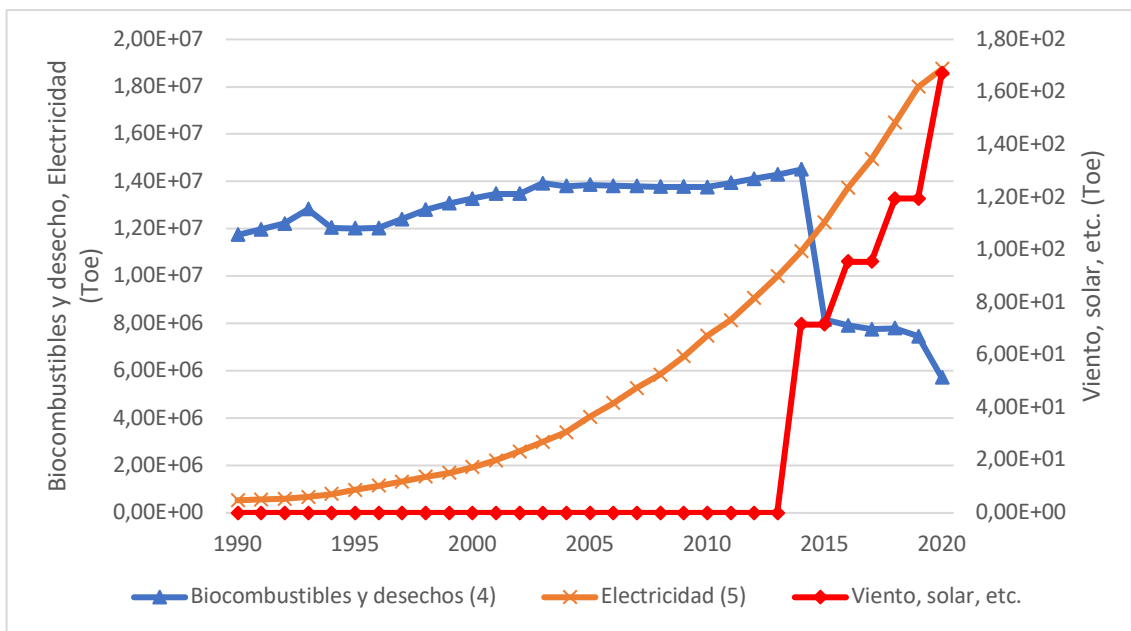
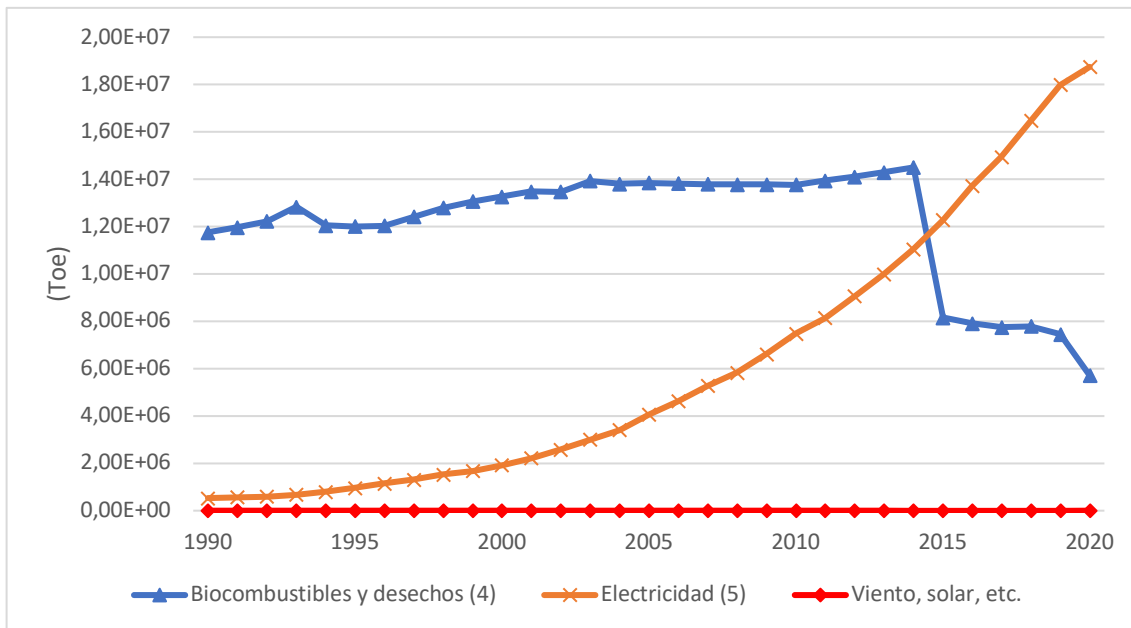


Fig. 4. Evolución de las energías renovables en Vietnam 1990-2020. Eje izquierdo: "Biocombustibles y desechos" y "Electricidad". Eje derecho: "Viento, solar, etc." Fuente: Agencia Internacional de la Energía (IEA, 2024) e Instituto de Energía (Energy Institute, 2024).

Por otro lado, la Figura 5 presenta la evolución del consumo total de energía primaria del país (ver línea roja y sus valores en el eje de la derecha). Dicho consumo en Vietnam ha experimentado un notable crecimiento, habiéndose multiplicado por 4,27 durante el período de estudio, lo que evidencia un aumento muy significativo en la demanda energética del país, impulsado principalmente

por el crecimiento económico, la expansión industrial y la urbanización. Sin embargo, la mayor parte de este aumento se ha satisfecho con energía fósil, como el carbón, el petróleo y el gas natural, y solo una pequeña parte proviene de fuentes de energía renovable (en 2020, alrededor del 10% era de origen renovable).

Adicionalmente, en el eje izquierdo de la figura 5 se muestra el porcentaje de la energía eléctrica renovable (fundamentalmente energía hidroeléctrica), respecto al total de generación eléctrica en Vietnam. Resulta sorprendente el hecho de que su porcentaje haya descendido desde aproximadamente un 76% en 1990, al 36% actual. De acuerdo con estos datos, es evidente que la mayor parte de la energía renovable en Vietnam durante este período ha sido hidroeléctrica, aunque las demás fuentes renovables (principalmente la energía solar) están comenzando a crecer y tendrán un papel más relevante en el mix energético del país.

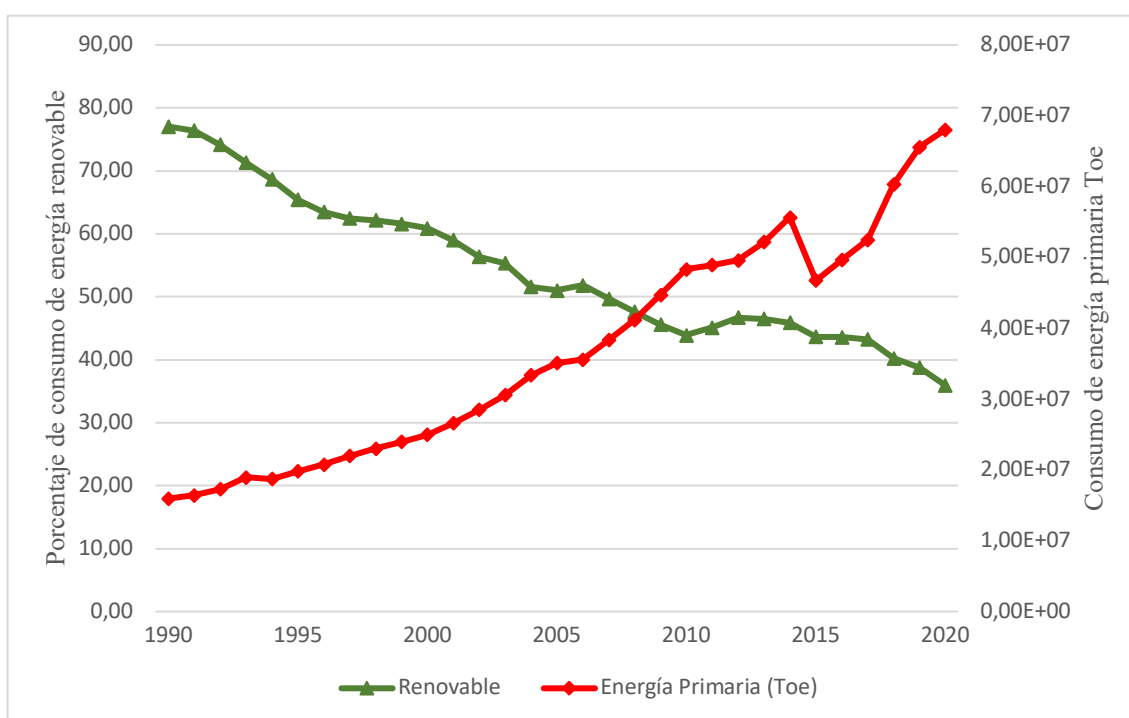
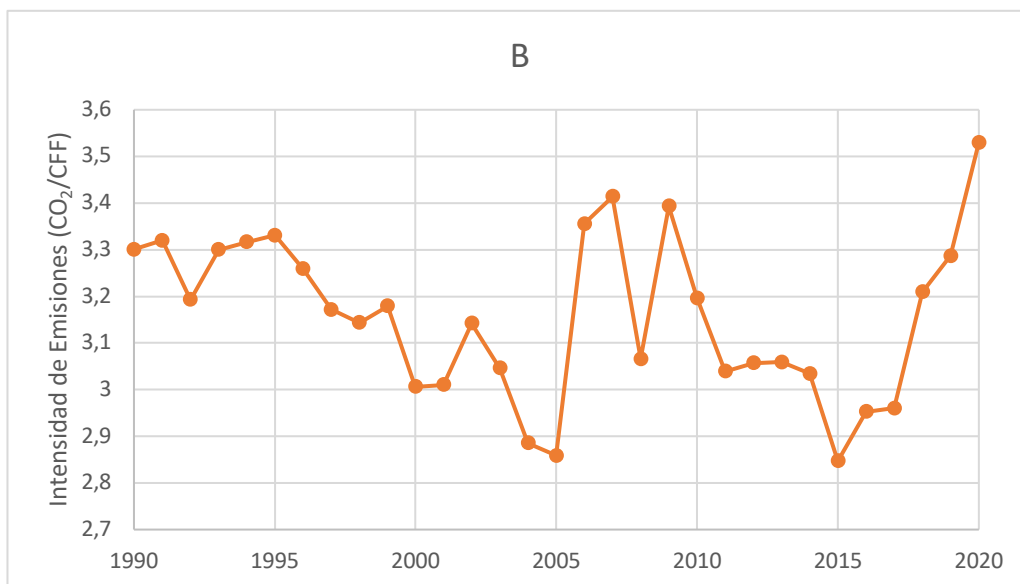
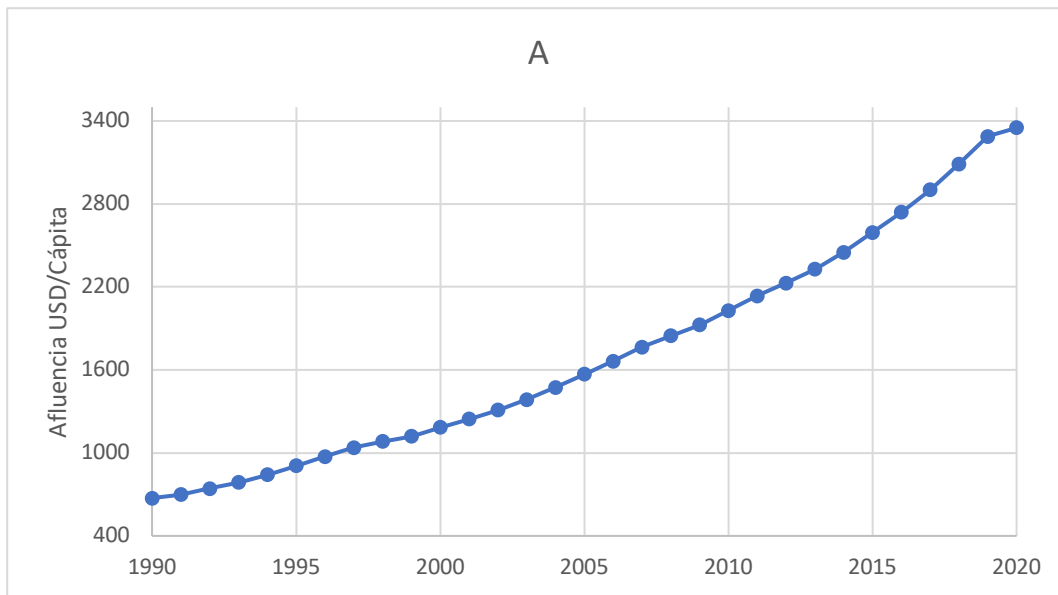


Fig. 5. Porcentaje de consumo de energía renovable (izquierda) y consumo de energía primaria en Toe (derecha). Fuente: Agencia Internacional de la Energía (IEA, 2024) e Instituto de Energía (Energy Institute, 2024)

En suma, aunque Vietnam haya promovido el uso de fuentes de energía renovable en los últimos 30 años, no ha logrado compensar el notable

incremento en sus necesidades energéticas, que han sido mayormente cubiertas por fuentes fósiles. Esta situación puede atribuirse a diversos factores, incluyendo el alto costo inicial de inversión, limitaciones tecnológicas y de infraestructuras y una posible gestión ineficiente. No obstante, con su potencial natural y políticas de apoyo, las energías renovables poseen un gran potencial en Vietnam.

5.2. Impactos ambientales del consumo de energía en Vietnam



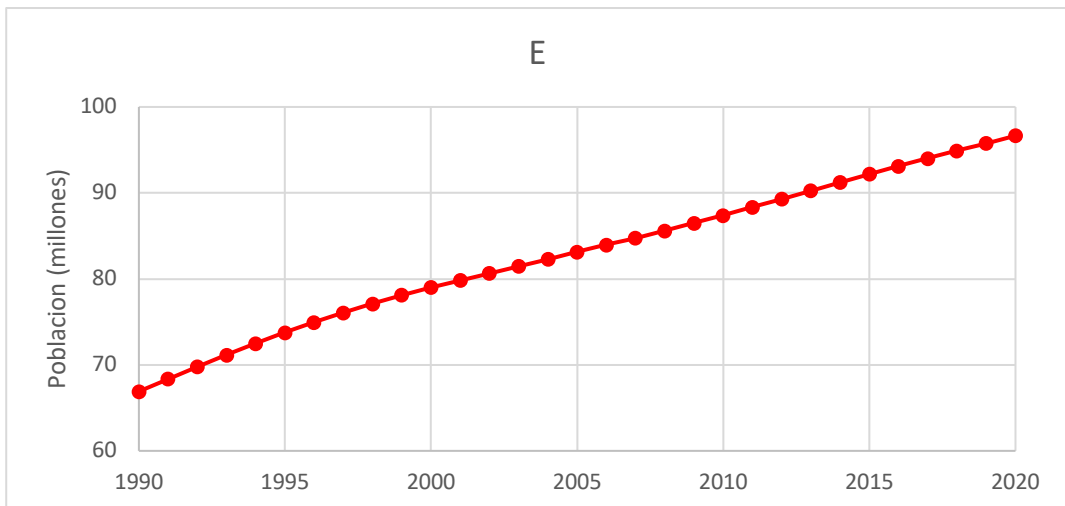
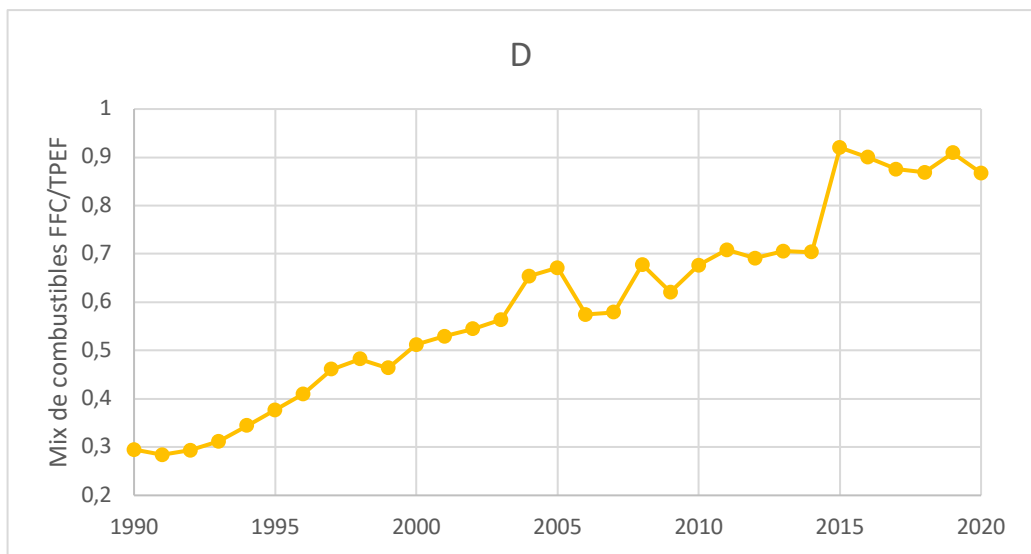
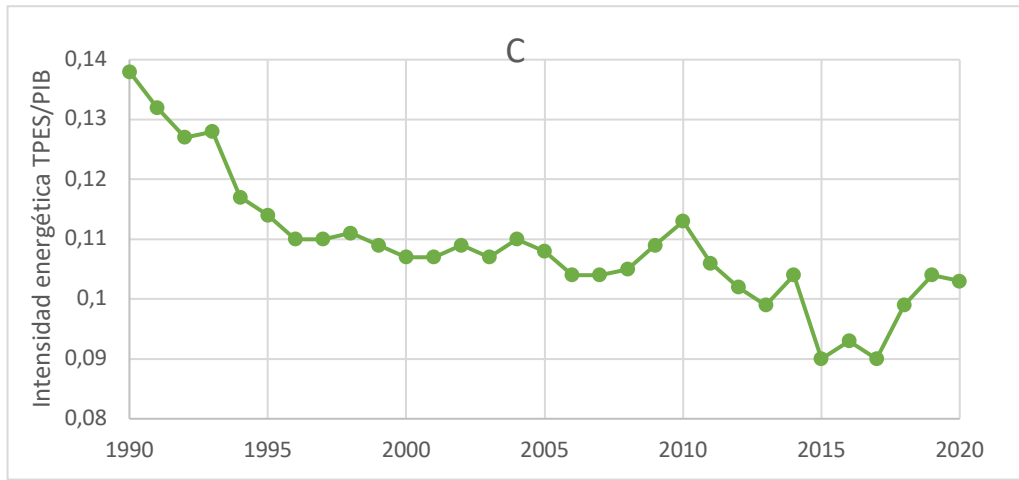


Fig. 6. Cambios en las variables de identidad de Kaya durante 1990-2020. Fuente: Agencia Internacional de la Energía (IEA, 2024) y (World Bank, 2024).

Durante el período de estudio de 1990 a 2020, se observaron cambios significativos en diversas variables que forman parte de la identidad de Kaya, como se ilustra en la Fig. 6. En cuanto a la afluencia, es decir, el PIB per cápita (Fig. 6.A), se registró un aumento notable, pasando de 673,38 USD en 1990 a 3352,06 USD en 2020, lo que refleja el gran crecimiento económico experimentado por Vietnam durante este período. Esta prosperidad se acompaña de una tasa de crecimiento anual promedio del PIB de alrededor del 6.7%, siendo una de las más altas a nivel mundial (Lê et al., 2021).

En lo referente a la intensidad de emisiones de CO₂ por consumo de combustibles fósiles (Fig. 6.B), hubo fluctuaciones importantes a lo largo del tiempo. En 1990, la intensidad de emisiones era de 3,3 (Mt CO₂ por ktoe de combustibles fósiles), descendiendo a 2,86 en 2005 y luego aumentando a 3,53 en 2020. Estos cambios reflejan tanto la evolución de la estructura energética como la eficiencia de los procesos productivos en Vietnam.

Respecto a la intensidad energética medida como la cantidad de energía primaria utilizada por unidad de PIB (TPES/PIB) (Fig. 6.C), se observó una disminución significativa, pasando de 0,138 toe por 1000 USD en 1990 a 0,103 en 2020, lo que indica una mejora del 25,4% en la eficiencia energética del país. Esta reducción muestra que Vietnam ha logrado producir más bienes y servicios utilizando menos energía, lo que puede atribuirse a la adopción de tecnologías más eficientes y la reestructuración económica hacia sectores menos intensivos en energía.

En cuanto a la combinación de combustibles (Fig. 6.D), la proporción de combustibles fósiles en la oferta total de energía final (TPEF) aumentó drásticamente, de 0,295 en 1990 a 0,867 en 2020. Este incremento refleja la creciente dependencia de Vietnam en los combustibles fósiles, a pesar de los esfuerzos globales por transitar hacia fuentes de energía más limpias.

Finalmente, en términos de población (Fig. 6.E), Vietnam experimentó un crecimiento considerable, pasando de 66,9 millones de habitantes en 1990 a 96,64 millones en 2020, lo que representa un incremento del 44,5%. Este

crecimiento poblacional, junto con el aumento en los niveles de ingreso y la industrialización, ha sido uno de los principales impulsores de la creciente demanda de energía y el aumento de las emisiones de CO₂.

La intensidad de emisiones de Vietnam es más alta que la mayoría de las otras economías en desarrollo de Asia Phan et al., (2020). Los factores que afectan esta mayor intensidad de emisiones incluyen (1) el cambio en la estructura industrial, (2) industrias intensivas en emisiones, (3) falta de recursos energéticos no fósiles, (4) uso ineficiente de recursos de combustibles fósiles, y (5) falta de tecnologías de conversión energética de alta eficiencia en plantas de energía, calderas industriales, generadores de vapor, etc. Además, a principios de la década de 1990 se observó una disminución en la intensidad de emisiones principalmente atribuible a los esfuerzos de reestructuración industrial en Vietnam, mientras que se ha producido un aumento en la intensidad de emisiones desde 2015, ya que las tasas de crecimiento del PIB han aumentado drásticamente.

5.3. Descomposición del CO₂ aplicando el método LMDI

Los resultados del análisis LMDI proporcionan información esencial sobre los factores que han impulsado el cambio en las emisiones de CO₂ en Vietnam de 1990 a 2020, ofreciendo una visión detallada de cómo cada componente ha contribuido tanto de manera aditiva como multiplicativa.

En el análisis aditivo, la variación total de las emisiones de CO₂ (140,09 Mt) está influenciada por varios factores. El crecimiento de la población (Cpop) contribuyó con 20,14 Mt, una contribución significativa en comparación con otros factores. Esto sugiere que el crecimiento de la población ha tenido un impacto considerable en las emisiones, aunque no es el factor más dominante. El PIB per cápita (Cpib), con una aportación de 87,93 Mt, muestra que el crecimiento económico y el aumento de la riqueza individual han tenido un impacto notable en las emisiones de CO₂.

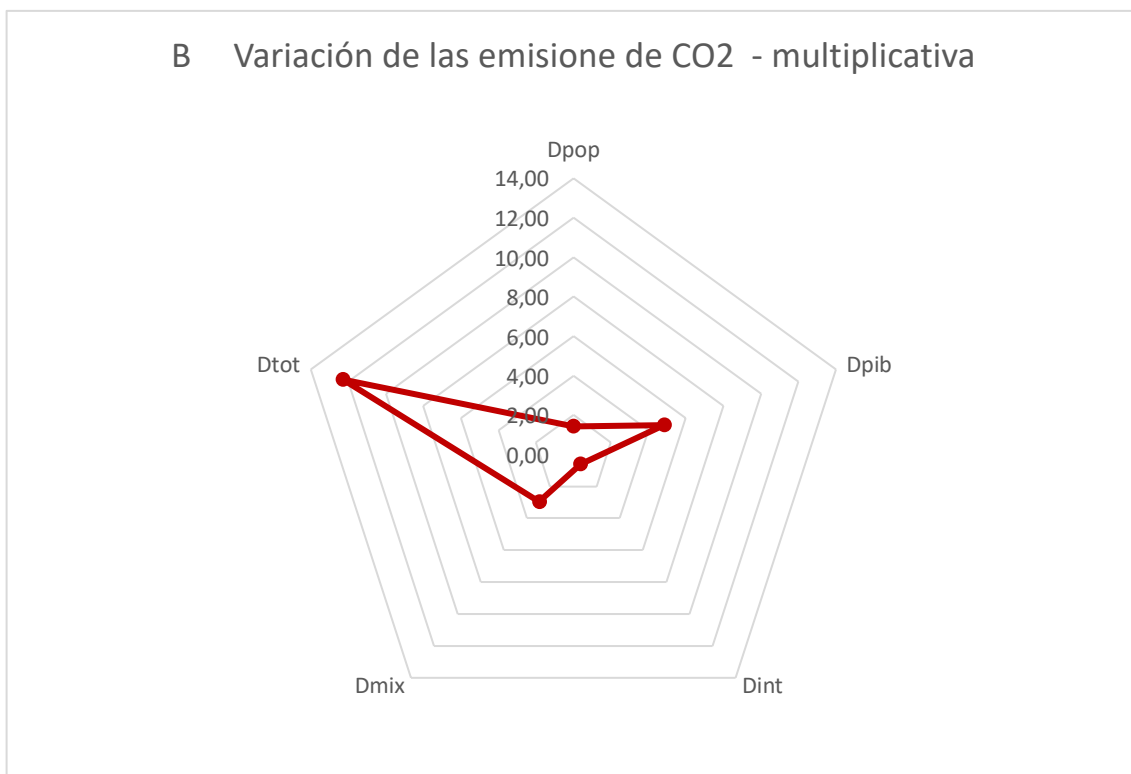
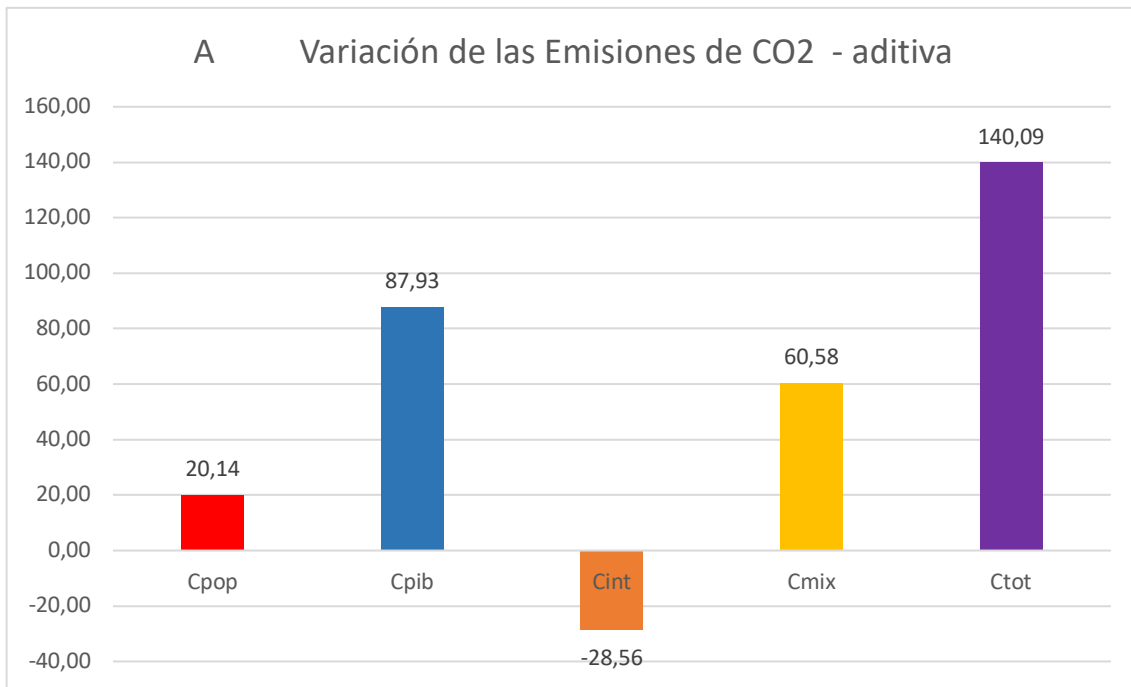


Fig. 7. La descomposición LMDI de Viet Nam para todo el período, 1990-2020, aditiva en el panel A y multiplicativa en el panel B.

Este resultado indica que a medida que la economía de Vietnam ha crecido, también lo han hecho las emisiones, reflejando una correlación directa entre el desarrollo económico y el aumento de las emisiones. La intensidad energética (Cint) muestra una contribución negativa de -28,56 Mt, indicando que ha habido

una mejora en la eficiencia energética durante este período. Este dato sugiere que se han adoptado tecnologías más eficientes o prácticas que han reducido el consumo de energía por unidad de producción económica, lo que ha contrarrestado el aumento de emisiones. El mix energético (Cmix) ha jugado un papel importante, contribuyendo con 60,58 Mt al aumento de las emisiones. Esto refleja que, aunque ha habido algunos avances hacia fuentes de energía más limpias, la matriz energética de Vietnam sigue dominada por fuentes de alta emisión de carbono, como el carbón y el petróleo.

En el análisis multiplicativo, los resultados muestran cómo los mismos factores han influido en la variación total de las emisiones de CO₂ a través de factores de crecimiento. El efecto multiplicador del crecimiento poblacional (Dpop) es de 1,43, indicando un impacto menor en las emisiones de CO₂ comparado con otros factores. El efecto del PIB per cápita (Dpib) de 4,83 destaca la significativa contribución del crecimiento económico al aumento de las emisiones de CO₂. Este alto valor refleja que el desarrollo económico ha estado acompañado por un incremento proporcional en las emisiones. La intensidad energética (Dint), con un factor multiplicador de 0,60, refuerza la observación del análisis aditivo sobre la mejora en la eficiencia energética. Un valor inferior a 1 indica una reducción en la intensidad energética, lo cual es un aspecto positivo en la mitigación de las emisiones. El mix energético (Dmix), con un factor multiplicador de 2,96, es uno de los factores más altos, indicando que los cambios en la combinación de fuentes de energía han tenido un impacto significativo en las emisiones de CO₂. Este alto valor puede atribuirse a una integración insuficiente de fuentes de energía más limpias o a la continua dependencia de fuentes de energía de alto carbono. Estos resultados se presentan claramente en la Fig. 7, que muestra la descomposición LMDI de Vietnam para todo el período 1990-2021, de manera aditiva en el panel A y multiplicativa en el panel B. Los resultados del análisis LMDI destacan la necesidad urgente de que Vietnam implemente estrategias más efectivas para mejorar la eficiencia energética y promover un cambio más decisivo hacia fuentes de energía renovables y menos contaminantes. Aunque el crecimiento económico y el aumento de la población son factores inevitables de desarrollo, la alta contribución del mix energético de alto carbono representa un desafío crítico que debe abordarse para reducir las

emisiones de CO₂ y mitigar el cambio climático. Para Vietnam, mejorar la eficiencia energética a través de tecnologías más avanzadas y prácticas sostenibles, así como promover políticas que favorezcan la adopción de energías renovables, será clave para equilibrar el desarrollo económico con la sostenibilidad ambiental. Este análisis no solo proporciona un diagnóstico claro de las áreas problemáticas, sino que también establece una base para futuras políticas orientadas a la reducción de emisiones y la promoción de un desarrollo más verde y sostenible.

La Figura 8, muestra la descomposición aditiva donde el panel A y la descomposición multiplicativa del LMDI el panel B, utilizando datos detallados de las Tablas 9 y 10. Aunque los resultados de ambos gráficos están vinculados, cada uno aporta información complementaria que enriquece la comprensión general. En ambos paneles, se observa que todos los factores mantienen una tendencia variable a lo largo del período analizado. El análisis LMDI proporciona una visión detallada sobre cómo han evolucionado las emisiones de gases de efecto invernadero en Vietnam entre 1990 y 2020, destacando varias características clave que han influido en su comportamiento y ayudando a entender mejor los factores que impulsan estos cambios. En primer lugar, el aumento de la población ha sido un factor importante en el incremento de las emisiones, como se refleja en la contribución acumulada de 20,14 Mt en 2020 en el análisis aditivo. A medida que la población de Vietnam ha crecido, la demanda de bienes y servicios ha seguido el mismo camino, lo que ha provocado un aumento en el consumo de energía y, en consecuencia, en las emisiones de gases de efecto invernadero. A partir de 2003, el crecimiento poblacional se aceleró considerablemente, intensificando la presión sobre los recursos energéticos y elevando la intensidad de las emisiones. Por otro lado, el crecimiento económico, medido a través del PIB per cápita, ha mostrado una aportación significativa de 87,93 Mt en el análisis aditivo y un factor multiplicativo de 4,83 en 2020, indicando un impacto considerable en el aumento de las emisiones de CO₂.

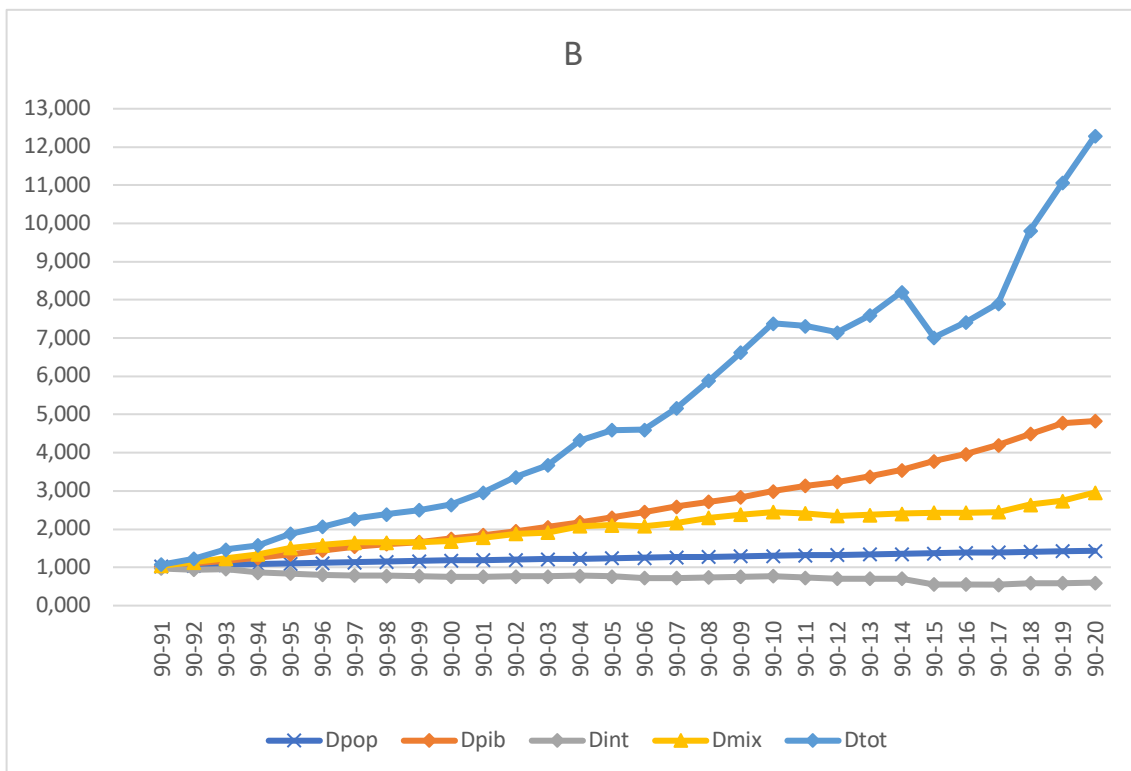
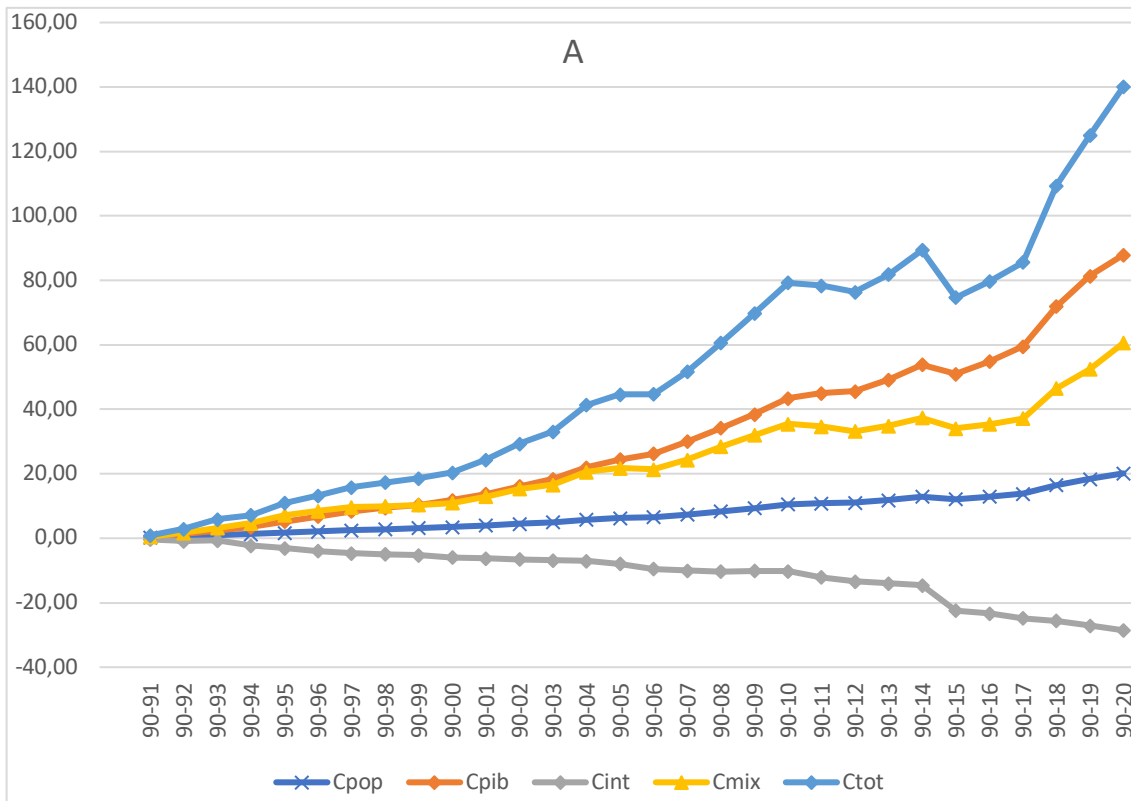


Fig. 8. Evolución de la descomposición aditiva (panel A) y multiplicativa (panel B) del LMDI para Viet Nam durante el período 1990-2020

Un aumento en el PIB per cápita generalmente refleja un mayor nivel de actividad económica y, por lo tanto, un mayor consumo de energía. Aunque el crecimiento económico puede traer prosperidad y desarrollo, también incrementa la demanda de energía, lo cual ha llevado a un aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero. Este fenómeno ha sido especialmente evidente en los últimos años, cuando la economía ha experimentado un crecimiento más rápido. Además, la intensidad energética, que mide la cantidad de energía utilizada por unidad de producto económico, ha mostrado una tendencia de disminución en el análisis aditivo con una contribución negativa de -28,56 Mt, lo cual es positivo. Sin embargo, en el análisis multiplicativo, un factor de 2,73 en 2020 indica que la eficiencia energética aún enfrenta desafíos. Esto podría deberse a una dependencia persistente de fuentes de energía no renovables y al crecimiento de sectores económicos que son altamente intensivos en energía. Durante la década de 2010, la intensidad energética fluctuó, lo cual ha tenido efectos mixtos sobre las emisiones. La estructura energética, representada por Cmix en el análisis aditivo con 60,58 Mt y un factor multiplicativo de 2,96 en 2020, también ha experimentado cambios importantes desde el año 2000. Aunque ha habido una reducción en la dependencia de ciertos combustibles fósiles, la transición hacia fuentes de energía más limpias no ha avanzado lo suficientemente rápido como para compensar el aumento de la demanda energética. La elección del tipo de combustible y la eficiencia de las tecnologías energéticas siguen siendo factores críticos que impactan directamente en las emisiones, y su efecto puede variar según la fase de desarrollo y los tipos de combustibles utilizados. El análisis LMDI revela que la combinación de crecimiento poblacional, expansión económica y modificaciones en la estructura energética ha tenido un impacto complejo en las emisiones de gases de efecto invernadero en Vietnam. Estos resultados subrayan la urgencia de adoptar políticas más firmes y específicas para enfrentar estos desafíos. Es fundamental implementar estrategias efectivas que reduzcan la intensidad energética, fomenten el desarrollo y la adopción de fuentes de energía renovables, y orienten el modelo de crecimiento hacia un futuro más sostenible. Estas medidas no solo son esenciales para mitigar los efectos adversos sobre el clima, sino también para asegurar un desarrollo económico equitativo y respetuoso con el medio ambiente a largo plazo.

5.4. Modelo de Desacoplamiento de Tapio

Tabla 5. Resultados del desacoplamiento de las emisiones de carbono en el desarrollo económico de Vietnam (1990-2022).

Año	ΔCO_2	ΔPIB	$D_{CO_2 \cdot PIB} < 0$	Estado de desacoplamiento
1990-1991	0,003609995	0,06	0,060561806	Débil
1991-1992	0,004253742	0,09	0,049198685	Débil
1992-1993	0,064591088	0,08	0,800114489	Expansivo
1993-1994	0,197311058	0,09	2,232282872	Negativo expansivo
1994-1995	0,09965108	0,10	1,044508015	Expansivo
1995-1996	0,179225706	0,09	1,918901177	Negativo expansivo
1996-1997	0,282416391	0,08	3,464345878	Negativo expansivo
1997-1998	0,051959834	0,06	0,901383215	Expansivo
1998-1999	0,014247462	0,05	0,298464494	Débil
1999-2000	0,110964572	0,07	1,63488138	Negativo expansivo
2000-2001	0,130681391	0,06	2,110183152	Negativo expansivo
2001-2002	0,140102057	0,06	2,216516759	Negativo expansivo
2002-2003	0,111232933	0,07	1,612290321	Negativo expansivo
2003-2004	0,151143835	0,08	2,005514866	Negativo expansivo
2004-2005	0,07765464	0,08	1,028913357	Expansivo
2005-2006	0,039715284	0,07	0,569153644	Débil
2006-2007	0,017834819	0,07	0,250155096	Débil
2007-2008	0,126917227	0,06	2,241652352	Negativo expansivo
2008-2009	0,089155325	0,05	1,651667603	Negativo expansivo
2009-2010	0,121054218	0,06	1,884627187	Negativo expansivo
2010-2011	0,093121757	0,06	1,452039679	Negativo expansivo
2011-2012	-0,05429083	0,06	-0,98635011	Fuerte
2012-2013	0,049632461	0,06	0,89371323	Expansivo
2013-2014	0,200774601	0,06	3,126237938	Negativo expansivo
2014-2015	0,184879771	0,07	2,645995248	Negativo expansivo
2015-2016	0,035932052	0,07	0,537100211	Débil
2016-2017	0,028846086	0,07	0,41563825	Débil
2017-2018	0,122276103	0,07	1,637990499	Negativo expansivo

Año	ΔCO_2	ΔPIB	$D_{\text{CO}_2.\text{PIB}} < 0$	Estado de desacoplamiento
2018-2019	0,326190296	0,07	4,432377386	Negativo expansivo
2019-2020	0,063061926	0,03	2,200796931	Negativo expansivo
2020-2021	-0,02969545	0,03	-1,15927197	Fuerte
2021-2022	-0,02537641	0,08	-0,31641784	Fuerte
1990-2022	15,13279173	6,97E+00	2,172472356	Negativo expansivo

La Tabla 5 los resultados del desacoplamiento de las emisiones de carbono en relación con el crecimiento económico de Vietnam desde 1990 hasta 2022. Utilizando la metodología de los ocho tipos de desacoplamiento propuestos por Tapio (2005) y aplicando la ecuación (14) para calcular el índice de desacoplamiento acumulado, se observa cómo Vietnam ha experimentado diferentes grados de desacoplamiento entre sus emisiones de carbono y su PIB a lo largo de este período. El índice acumulado de 2,172 indica un estado general de "Negativo expansivo", lo que sugiere que, en términos generales, las emisiones de carbono han crecido más rápidamente que el PIB, reflejando un desafío persistente en la armonización del desarrollo económico con la sostenibilidad ambiental.

En varios años clave, como 1993-1994, 1997-1998, 1999-2000, 2000-2001, 2001-2002, 2002-2003, 2003-2004, 2007-2008, 2008-2009, 2009-2010, 2010-2011, 2013-2014, 2014-2015, 2017-2018, 2018-2019 y 2019-2020, Vietnam ha mostrado un estado de "Negativo expansivo". Esto significa que el crecimiento de las emisiones de carbono superó significativamente el crecimiento económico, indicando que, a pesar del avance económico, los beneficios ambientales no se han materializado, y el deterioro ecológico ha seguido un curso preocupante.

Por otro lado, en años como 1991-1992, 1998-1999, 2005-2006, 2006-2007, 2015-2016, 2016-2017, y más recientemente en 2020-2021 y 2021-2022, se han registrado desacoplamientos "Débiles" o "Fuertes". El desacoplamiento "Débil" sugiere que las tasas de crecimiento de las emisiones de carbono y del PIB eran casi equivalentes, lo cual señala una falta de progreso en reducir la intensidad

de carbono del crecimiento económico. En cambio, el desacoplamiento "Fuerte" refleja un logro significativo donde el PIB creció más rápidamente que las emisiones de carbono, demostrando un avance hacia un desarrollo económico más limpio y eficiente.

Estos resultados deben ser analizados en el contexto de las políticas de desarrollo sostenible del gobierno vietnamita, que ha implementado estrategias como la Estrategia Nacional para el Crecimiento Verde, el Programa Nacional de Ahorro de Energía, y la Ley de Protección Ambiental. Estas iniciativas han tenido como objetivo reducir las emisiones de carbono, mejorar la eficiencia energética y fomentar un crecimiento económico más sostenible. Además, programas como el Programa de Incentivo al Desarrollo Económico Verde y las inversiones en infraestructura verde, incluido el transporte público ecológico, han contribuido a mitigar algunos impactos negativos. Sin embargo, la prevalencia del desacoplamiento "Negativo expansivo" y los periodos de desacoplamiento "Débil" indican que aún se requieren esfuerzos más vigorosos y políticas más robustas para asegurar que el crecimiento económico no comprometa los objetivos ambientales. En el futuro, será crucial para Vietnam intensificar sus esfuerzos en la adopción de tecnologías más limpias y prácticas de desarrollo sostenible para equilibrar eficazmente el desarrollo económico con la conservación ambiental.

5.5. Obtención de los coeficientes de la ecuación de Kuznets.

Representando la recta de regresión por mínimos cuadrados se obtiene un coeficiente μ_1 mayor que 1, lo que significa que Viet Nam es probable que se encuentre en la etapa 1 de la curva EKC, Además, utilizando los datos históricos de Viet Nam sale un coeficiente de correlación de Pearson de 0.99 para dicha etapa.

Tabla 6. Estimación de los coeficientes de la regresión lineal mediante el método de los mínimos cuadrados

<i>Parámetros</i>	<i>1990-2020</i>
μ_0	-10,355
μ_1	1,398
R^2	0,99
σ^2	0,0042

Los resultados obtenidos parecen indicar que existe una relación lineal entre el PIB y las emisiones de CO₂ en Vietnam, con un coeficiente de $\mu_1 = 1.398$. Según este análisis, Vietnam parece estar en la etapa inicial de la curva ambiental de Kuznets (EKC), donde el rápido crecimiento económico está acompañado por un aumento de las emisiones. No obstante, Para verificar con mayor rigurosidad el cumplimiento de la hipótesis Kuznets, sería necesario completar este análisis preliminar mediante pruebas estadísticas adicionales como por ejemplo los test de (Ng-Perron 1996) y Engle-Granger de Bilgili, F. (1998).

Suponiendo que se cumpliera la curva de Kuznets, para avanzar a la siguiente fase de la EKC, Vietnam necesitará adoptar estrategias más sostenibles, como la reducción de la intensidad energética, el fomento del uso de energías limpias y la disminución de la dependencia de los combustibles fósiles, lo que permitirá reducir las emisiones de CO₂ mientras la economía sigue creciendo. La implementación de estas medidas será clave para lograr un desarrollo económico sostenible y mitigar los impactos negativos sobre el medio ambiente en el futuro.

5.6. Intensidad de emisiones

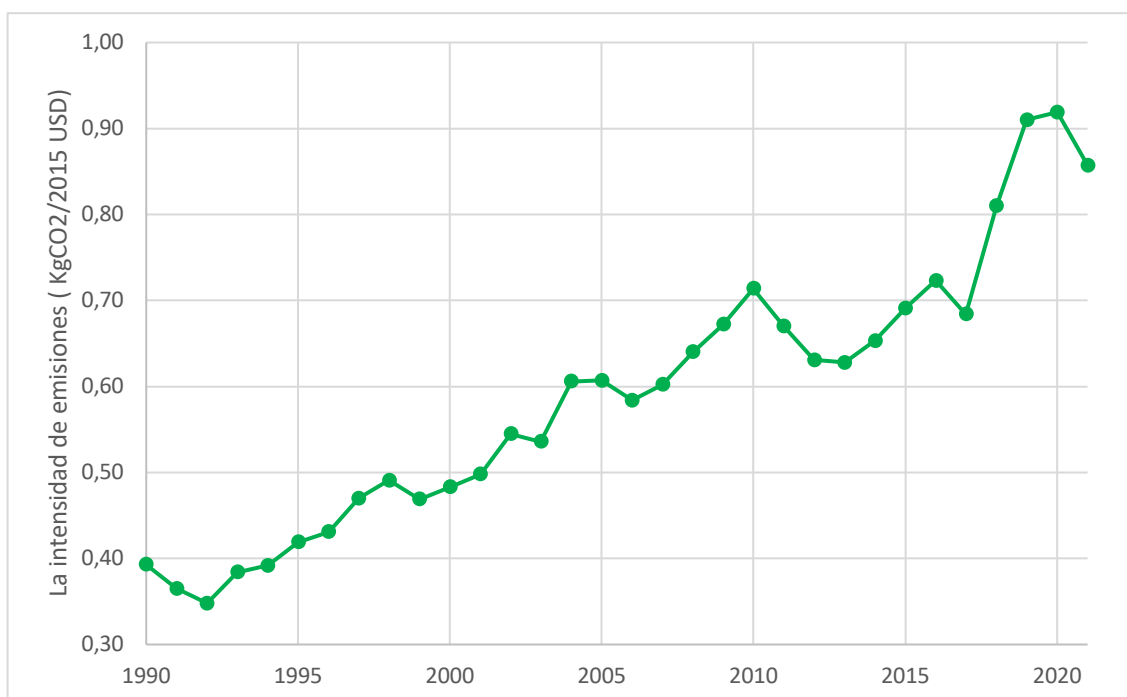


Fig. 9. La intensidad de emisiones para Vietnam, desagregada por sectores, durante el período 1990-2021

Basado en los datos de análisis de la intensidad de emisiones de Vietnam desde 1990 hasta 2021 de fig. 9, se puede observar que la intensidad de emisiones de CO₂ ha mostrado una tendencia variable pero creciente a lo largo de los años. Comenzando en un nivel de 0,39 kgCO₂/2015USD en 1990, la intensidad de emisiones ha tenido fluctuaciones moderadas en los primeros años de la década de 1990, alcanzando un nivel de 0,43 kgCO₂/2015USD en 1996 y aumentando de manera más pronunciada a partir de 1997. Este aumento refleja los efectos de la industrialización y el consumo de energía, donde Vietnam comenzó a depender cada vez más de fuentes de energía no renovables.

Entre 1990 y 2000, la intensidad de emisiones pasó de 0,39 kgCO₂/2015USD a 0,48 kgCO₂/2015USD, lo que indica una mayor demanda de energía en relación con el crecimiento económico. Durante el período de 2000 a 2010, la intensidad de emisiones siguió aumentando de manera constante, alcanzando 0,71 kgCO₂/2015USD en 2010. Este aumento puede estar vinculado al rápido crecimiento económico y la expansión de las industrias intensivas en energía, particularmente en sectores como la manufactura y la construcción.

Entre 2010 y 2020, la intensidad de emisiones continuó su tendencia al alza, alcanzando un pico de 0,92 kgCO₂/2015USD en 2020. Este período coincide con la aceleración de la urbanización y el aumento del consumo de combustibles fósiles en Vietnam, especialmente en la generación de electricidad y el transporte. El incremento de la construcción de infraestructuras y el crecimiento de la población también impulsaron la demanda de energía, lo que contribuyó al aumento de las emisiones.

A partir de 2020, la intensidad de emisiones experimentó una ligera disminución, bajando a 0,86 kgCO₂/2015USD en 2021. Esta reducción puede estar asociada a la desaceleración económica global causada por la pandemia de COVID-19, que afectó la actividad industrial y el consumo de energía. Sin embargo, este descenso es probablemente temporal y no refleja una tendencia a largo plazo hacia la reducción de las emisiones.

Para el futuro, es esencial que Vietnam continúe implementando políticas energéticas sostenibles, avanzando hacia fuentes de energía renovables y mejorando la eficiencia energética en todos los sectores. Reducir la dependencia de los combustibles fósiles y adoptar tecnologías de bajo carbono será clave para controlar las emisiones de CO₂ y asegurar un crecimiento económico más sostenible y resiliente frente a los desafíos globales del cambio climático.

5.7 Implicaciones políticas

Como resultado de la investigación, se pueden hacer importantes recomendaciones políticas para ayudar a Vietnam a reducir sus emisiones de CO₂ y avanzar hacia un desarrollo sostenible. Se requieren medidas para mitigar el impacto del crecimiento poblacional sobre las emisiones de carbono, incluyendo la concienciación pública sobre la huella de carbono, el fomento del consumo de energía verde, la implementación de programas de coche compartido y la promoción de una cultura de ahorro energético en las áreas urbanas.

En el sector industrial, Vietnam necesita adoptar tecnologías de ahorro energético, reducir los residuos mediante la fijación de precios de desechos y promover el uso de energías renovables. La mejora de la eficiencia energética también es crucial, mediante el fomento de una producción más eficiente en

términos energéticos, aumentando el valor añadido de las industrias y la implementación de programas de recuperación de energía y recursos a través de la simbiosis industrial.

Además, es esencial ampliar las fuentes de energía renovable, como la solar, eólica y la bioenergía, para reemplazar los combustibles fósiles, desarrollar infraestructura para convertir residuos en energía y promover la eficiencia energética en las industrias. La energía nuclear puede desempeñar un papel clave en proporcionar una fuente de energía limpia y estable, ayudando a reducir la dependencia de los combustibles fósiles, pero no existe ninguna central nuclear en el país.

Las políticas dirigidas a reducir la intensidad de emisiones de CO₂ incluyen la promoción de tecnologías de producción más limpia, la mejora de infraestructuras energéticas ineficientes y la adopción de modelos de simbiosis industrial para aprovechar el exceso de energía.

Históricamente, Vietnam ha promulgado varias políticas nacionales relacionadas con la reducción de emisiones y la protección del medio ambiente, tales como el Decreto sobre el Cargo por Contaminación del Aire, la Estrategia Nacional de Desarrollo Energético, el Programa Nacional de Eficiencia Energética, la Estrategia Nacional de Cambio Climático, la Estrategia Nacional de Crecimiento Verde y la Ley de Ahorro y Eficiencia Energética. No obstante, los ambiciosos objetivos de reducción de emisiones de CO₂ aún no se han logrado, por lo que es necesario intensificar los esfuerzos en la implementación de políticas ambientales para alcanzar los objetivos de desarrollo sostenible y mitigar los impactos negativos sobre el medio ambiente en el futuro.

6. CONCLUSIONES

Entre 1990 y 2020, la economía de Vietnam experimentó un crecimiento notable, multiplicándose por 4,27 el consumo de energía primaria, impulsado principalmente por el crecimiento del PIB y el rápido proceso de urbanización. Aunque las fuentes de energía renovable, como la hidroeléctrica y la solar, han mostrado avances, los combustibles fósiles, en especial el carbón, siguen dominando la matriz energética del país (proporcionando actualmente más del 40% de las necesidades totales de energía).

Es relevante destacar que el análisis LMDI muestra que la intensidad energética desempeñó un papel clave en la reducción de las emisiones, mientras que el crecimiento de la población (20,14 Mt) y el aumento del PIB per cápita (87,93 Mt) fueron los principales factores que contribuyeron al aumento de las emisiones. En total, las emisiones de CO₂ aumentaron en 140,09 Mt durante este período, con una contribución significativa del cambio en la composición de los combustibles (60,58 Mt).

Vietnam se encuentra en la etapa inicial de la curva ambiental de Kuznets (EKC), en la que el crecimiento económico actual aún está acompañado de un aumento en las emisiones de CO₂. Esto refleja que el desarrollo económico de Vietnam sigue dependiendo del consumo de energía no sostenible, principalmente de fuentes fósiles. Con el objetivo de avanzar hacia un futuro más sostenible, Vietnam se ha comprometido a alcanzar emisiones netas cero para el año 2050. Este compromiso requiere la implementación de políticas ambientales sólidas y oportunas para enfrentar los desafíos ambientales en un contexto de rápida integración y desarrollo económico.

De los resultados del análisis de Tapio, se deriva que en muchos de los periodos analizados, Vietnam ha experimentado una "expansión negativa", donde el crecimiento de las emisiones de carbono ha superado el crecimiento del PIB. Sin embargo, en algunos períodos, como 2020-2021, el país ha alcanzado fases de desacoplamiento fuerte (probablemente influido por la pandemia). El desacoplamiento fuerte refleja un crecimiento ligeramente más rápido del PIB en comparación con las emisiones de carbono. Esto demuestra que, aunque se han

logrado mejoras en algunos años, los desafíos persisten y es necesario seguir implementando políticas ambientales más eficaces para alcanzar los objetivos de sostenibilidad.

El análisis detallado del LMDI - ADITIVO (Mt) muestra que Cpop contribuyó con 20,14 Mt debido al crecimiento de la población, lo que impulsó un aumento en las emisiones de CO₂. Esto refleja la creciente demanda de energía de una población en expansión, que demanda bienes y servicios, especialmente en los sectores residencial y de transporte. El crecimiento del PIB per cápita fue el principal factor detrás del aumento de las emisiones, con una contribución de 87,93 Mt, lo que muestra que el aumento de la riqueza y los ingresos, aunque positivo en términos económicos, conlleva una mayor demanda de energía. La intensidad energética jugó un papel positivo en la reducción de las emisiones (-28,56 Mt), lo que indica una mejora significativa en la eficiencia energética, reflejando avances tecnológicos y políticas de ahorro energético que han permitido a Vietnam reducir el consumo de energía por unidad de PIB. Sin embargo, el cambio en la composición de los combustibles, especialmente la dependencia del carbón y el petróleo, contribuyó con 60,58 Mt al aumento de las emisiones de CO₂. Aunque las energías renovables han crecido, el aumento en el uso de combustibles fósiles sigue predominando en la matriz energética, provocando un aumento considerable en las emisiones.

El análisis LMDI - MULTIPLICATIVO muestra que el crecimiento de la población en un 43% contribuyó al aumento de las emisiones de CO₂. El crecimiento económico incrementó las emisiones 4,83 veces, siendo el principal factor detrás de este aumento, mientras que la mejora en la eficiencia energética ayudó a reducir las emisiones en un 40%. Sin embargo, la composición energética aumentó las emisiones 3 veces, lo que refleja una fuerte dependencia de los combustibles fósiles, y en total, las emisiones aumentaron 12,29 veces durante este período.

Las recomendaciones y soluciones deben replantearse considerando la realidad actual de Vietnam. En lugar de centrarse únicamente en la reducción del uso de carbón mediante la implementación de un impuesto al carbono, que es difícil de

aplicar en este momento, sería más realista enfocarse en una transición gradual hacia fuentes de energía menos contaminantes. Aunque las energías renovables no han sido suficientes para compensar el aumento del consumo energético, es crucial que se realicen inversiones más significativas para fortalecer su desarrollo. Sin embargo, el uso de gas natural, aunque menos contaminante que el carbón, no es una solución a largo plazo debido a sus propias emisiones de CO₂.

Mejorar la eficiencia energética sigue siendo una prioridad importante, pero los avances hasta ahora no han sido suficientes. Vietnam necesita acelerar la adopción de tecnologías avanzadas y promover soluciones de ahorro energético en los sectores industrial y de servicios para hacer frente a las crecientes emisiones. A pesar de los esfuerzos, Vietnam enfrenta grandes desafíos para cumplir con sus compromisos de Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional (NDC), y la meta de reducir la intensidad de emisiones en un 15% para 2030 parece poco alcanzable sin cambios significativos en las políticas actuales.

Es vital integrar de manera más efectiva los objetivos económicos y ambientales para garantizar que el crecimiento económico no dependa del aumento de las emisiones. Si no se aborda esta desconexión entre los objetivos climáticos y el PIB, el progreso en la reducción de emisiones se verá frenado. Un enfoque integral, que considere simultáneamente tanto los objetivos económicos como los ambientales, es esencial para que Vietnam pueda continuar desarrollándose de manera sostenible y cumplir con sus compromisos internacionales de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.

El análisis basado en el modelo de desacoplamiento de Tapio y la hipótesis de la curva ambiental de Kuznets (EKC) también ofrece una visión clara de la relación entre el crecimiento económico y las emisiones de carbono. Según el modelo de desacoplamiento de Tapio, el grado de desacoplamiento entre el crecimiento económico y las emisiones de carbono se evalúa comparando la tasa de crecimiento del PIB con la velocidad del aumento de las emisiones de CO₂. En el caso de Vietnam, a medida que el PIB crece rápidamente, las emisiones de CO₂ también aumentan, lo que representa un desacoplamiento

débil o no completo. Esto significa que, aunque la economía está en expansión, aún no se han implementado medidas suficientes para desacoplar por completo las emisiones de CO₂ del crecimiento económico.

Además, según la hipótesis de la curva ambiental de Kuznets (EKC), la relación entre el crecimiento económico y las emisiones ambientales sigue una curva en forma de U invertida. En las primeras etapas, el crecimiento económico viene acompañado de un aumento en las emisiones debido a la industrialización y la urbanización. Sin embargo, cuando se alcanza un cierto nivel de desarrollo, las mejoras tecnológicas y las políticas ambientales reducen las emisiones, lo que lleva a un desacoplamiento completo (strong decoupling). Según los resultados preliminares obtenidos, Vietnam se encuentra actualmente en la fase inicial de la curva EKC, donde el crecimiento económico aún está vinculado al aumento de las emisiones. No obstante, para alcanzar el "punto de inflexión" en el que el crecimiento económico ya no genere un aumento de las emisiones, Vietnam deberá continuar invirtiendo en tecnologías limpias, energías renovables y medidas para mejorar la eficiencia energética.

La aplicación del modelo de desacoplamiento de Tapio y la hipótesis de la EKC subraya la necesidad de que Vietnam tome medidas concretas para garantizar un desarrollo sostenible y desacoplar las emisiones de CO₂ del crecimiento económico, avanzando así hacia el objetivo de emisiones netas cero para 2050. Es hora de responder a las preguntas planteadas, a saber:

1. ¿Es la intensidad energética el factor principal en la reducción de las emisiones de CO₂ en Vietnam? La respuesta claramente es sí, porque durante todo el período de estudio, ese ha sido el factor que ha reducido las emisiones.
2. ¿Cómo se puede ajustar la demanda de energía en un país en desarrollo como Vietnam para ralentizar el aumento de las emisiones de CO₂? Para seguir promoviendo el uso de energías renovables y evitar el uso de combustibles con alto contenido de carbono, estos podrían ser reemplazados gradualmente por gas natural, ya que tiene un coeficiente de emisión mucho menor.

3. ¿Es inevitable el aumento de las emisiones de CO₂ en un escenario de crecimiento estable del PIB? Sí, a menos que haya cambios significativos en las políticas de mitigación del país.
4. ¿Son suficientes los esfuerzos del gobierno de Vietnam para promover las energías renovables? Actualmente, no parecen ser suficientes, dado que el carbón sigue siendo la principal fuente de energía primaria. Aunque el fomento de las energías renovables ha aumentado, el punto crucial está en lograr reemplazar el carbón por gas natural, que es menos contaminante, y al mismo tiempo impulsar con más vigor el desarrollo de las energías renovables como la solar, eólica y otras. El desafío está en lograr una transición energética efectiva que permita reducir la dependencia del carbón sin comprometer el crecimiento económico. Vietnam necesita políticas más agresivas y mayor inversión en infraestructura energética renovable para que estas fuentes puedan competir y eventualmente reemplazar los combustibles fósiles como el carbón.
5. ¿Cómo está evolucionando la intensidad de CO₂ en Vietnam?

La intensidad de emisiones en Vietnam no está evolucionando de manera favorable y aún no cumple con los objetivos establecidos en su NDC. Para avanzar de manera más efectiva, sería mejor si los compromisos de la NDC se formularan en términos de reducción neta de emisiones, como lo ha hecho la Unión Europea. Actualmente, Vietnam ha fijado sus metas en función de la intensidad de emisiones (CO₂/PIB) y la capacidad total de generación eléctrica, pero como se mencionó anteriormente, esto no garantiza una reducción de las emisiones, ya que las plantas de energía renovable pueden no operar de manera constante (por ejemplo, por la falta de viento).

7. REFERENCIAS

- Al-Mulali, U., Sheau-Ting, L., Sab, C. N. B., & Fereidouni, H. G. (2015). Exploring the relationship between urbanization, energy consumption, and CO₂ emission in MENA countries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 45, 602-614.
- Alam MJ, Begum IA, Buysse J, Rahman S, Van Huylbroeck G. Dynamic modeling of causal relationship between energy consumption, CO₂ emissions and economic growth in India. *Renew Sustain Energy Rev* 2010;15:3243–51.
- Andreoni, V., & Galmarini, S. (2016). Drivers in CO₂ emissions variation: A decomposition analysis for 33 world countries. *Energy*, 103, 27-37.
- Ang, B. W. (1995). Decomposition methodology in industrial energy demand analysis. *Energy*, 20(11), 1081-1095.
- Ang, B. W., & Liu, F. L. (2001). A new energy decomposition method: perfect in decomposition and consistent in aggregation. *Energy*, 26(6), 537-548.
- Ang, B.W., Choi, K.-H., 1997. Decomposition of aggregate energy and gas emission intensities for industry: a refined Divisia index method. *Energy J.* 18, 59-73.
- Anh, T. N. T. (2012). Economic growth and CO₂ emissions in Vietnam: Evidence and policy implications. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 2(3), 179-191.
- Baek, J., Cho, Y., Koo, W.W., 2009. The environmental consequences of globalization: a country-specific time series analysis. *Ecol. Econ.* 68, 2255–2264.
- Baek, J., Kim, H.S., 2011. Trade liberalization, economic growth, energy consumption and the environment: time series evidence from G-20 countries. *J. East Asia Econ. Integr.* 15, 3–32.
- Bahmani-Oskooee, M., Nasir, A.B., 2004. ARDL approach to test the productivity bias hypothesis. *Rev. Dev. Econ.* 8, 483–488.
- Banerjee, A., Dolado, J.J., Mestre, R., 1998. Error-correction mechanism tests for cointegration in a single-equation framework. *J. Time Ser. Anal.* 19, 267–284.
- Bilgili, F. (1998). Stationarity and cointegration tests: Comparison of Engle-Granger and Johansen methodologies. *Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, (13), 131-141.

Boqiang, L., & Liu, K. (2017). Using LMDI to analyze the decoupling of carbon dioxide emissions from China's heavy industry. *Sustainability*, 9(7), 1198.

Borja-Patiño, J., Robalino-López, A., & Mena-Nieto, A. (2024). Breaking the unsustainable paradigm: exploring the relationship between energy consumption, economic development and carbon dioxide emissions in Ecuador. *Sustainability Science*, 19(2), 403-421.

Bui, T. H., Nguyen, V. D., & Tran, Q. P. (2018). Industrial symbiosis in Vietnam: Potential and policy implications. *Journal of Cleaner Production*, 195, 1218-1227.

Chontanawat J, Hunt LC, Pierse R. Does energy consumption cause economic growth? Evidence from a systematic study of over 100 countries *J Policy Model* 2008;30:209–20.

Chontanawat, J. (2018). Decomposition analysis of CO₂ emission in ASEAN: An extended IPAT model. *Energy Procedia*, 153, 186-190.

Dinda, S., 2004. Environmental Kuznets curve hypothesis: a survey. *Ecol. Econ.* 49, 431–455.

Do, T. T., Nguyen, P. Q., & Le, H. T. (2021). Eco-industrial development and CO₂ emission mitigation in Vietnam: Opportunities and challenges. *Sustainable Development*, 29(3), 467-480.

Dong B, Zhang M, Mu H, Su X (2016) Study on decoupling analysis between energy consumption and economic growth in Liaoning Province. *Energy Policy* 97:414–420. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2016.07.054>

Dong, F., Wang, Y., Zheng, L., Li, J., & Zhang, X. (2020). The role of economic development, fossil energy consumption, urbanization, and technological innovation in the ecological footprint in G20 countries. *Science of The Total Environment*, 748, 141282.

Eckstein, D., Kunzel, V., Schafer, L., & Wings, M. (2019). *Global Climate Risk Index 2020*. Bonn: German Watch .

ECOSOC. (2016). Progress towards the Sustainable Development Goals. Recuperado de Naciones Unidas Consejo Económico y Social: (<https://unstats.un.org/sdgs/files/report/2016/secretary-general-sdg-report-2016-en.pdf>)

Elliot, G., Rothenberg, T., Stock, J., 1996. Efficient tests for an autoregressive unit root. *Econometrica* 64, 813–836.

Energy Institute. (2024). *Statistical review of world energy 2024*. Energy Institute. <https://www.energyinst.org/statistical-review/home>

EREA & DEA. (2019). *Vietnam Energy Outlook Report 2019*.

EREA & DEA. (2022). *Vietnam Energy Outlook Report 2021*.

Esteve V, Tamarit C. Is there and the environmental Kuznets curve for Spain? Fresh evidence from old data *Econ Model* 2012;29(6):2696–703.

Esteve V, Tamarit C. Threshold cointegration and nonlinear adjustment between CO₂ and income: the environmental Kuznets curve in Spain, 1857–2007. *Energy Econ* 2012;34(6):2148–56.

Fosten J, Morley B, Taylor T. Dynamic misspecification in the environmental Kuznets curve: evidence from CO₂ and SO₂ emissions in the United Kingdom. *Ecol Econ* 2012;76:25–33.

Fu, B., Zhang, X., Wang, Y., & Zhao, D. (2015). Decomposition analysis of energy-related carbon emissions from the transportation sector in Beijing. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 41, 107-119.

Grossman GM, Krueger AB. Economic growth and the environment. *Quart J Econ* 1995;110:353–77.

Halicioglu F. An econometric study of CO₂ emissions, energy consumption, income and foreign trade in Turkey. *Energy Policy* 2009;37:699–702.

Hoang, T. M., & Nguyen, L. D. (2018). Technological impacts on CO₂ emissions in Vietnam's industrial sectors. *Environmental Technology & Innovation*, 10, 123-131. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.01.021>

ICTSD (2023). Trade and Climate Change in Vietnam. International Centre for Trade and Sustainable Development.

IEA (2023). Vietnam Energy Market Data & Analysis. International Energy Agency.

IEA, 2024 *World Energy Statistics and Balances*, IEA, Paris <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-product/world-energy-statistics-and-balances>,

IPCC (2022). Sixth Assessment Report. Intergovernmental Panel on Climate Change.

IPCC. (2014). Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC, Geneva, Switzerland.

Jaunky VC. The CO2 emissions-income nexus: evidence from rich countries. *Energy Policy* 2011;39:1228–40.

Jeong, K., & Kim, Y. (2013). LMDI decomposition analysis of greenhouse gas emissions in the Korean manufacturing sector. *Energy Policy*, 62, 1245-1253.

Jiang, Q., Wang, Y., & Zhao, D. (2019). Decomposition analysis of carbon emissions and policy recommendations for energy conservation and emission reduction in China's mining sector. *Resources Policy*, 60, 241-250.

Johansen, S., 1988. Statistical analysis of cointegration vector. *J. Econ. Dyn. Control*. 12, 231–254.

Juknys (2003) Transition period in Lithuania-do we move to sustainability. *J Environ Res Eng Manag* 4(26):4–9

Kaivo-oja, J., Panula-Ontto, J., Vehmas, J., & Luukkanen, J. (2014). Relationships of the dimensions of sustainability as measured by the sustainable society index framework. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 21(1), 39-45.

Karmela, L., Zhang, X., & Zhao, D. (2016). Analysis of factors affecting CO2 emissions by decomposing the drivers in the industrial sector. *Applied Energy*, 183, 1360-1371.

Kremers, J.J.M., Ericson, N.R., Dolado, J.J., 1992. The power of cointegration tests. *Oxf. Bull. Econ. Stat.* 54, 325–348.

Kuznets S. Economic growth and income inequality. *Am Econ Rev* 1955;45 (1):1–28.

Le, P. H., & Ha-Duong, M. (2009). Renewable energy technologies in Vietnam: Potential, status, and policy recommendations. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13(9), 2196-2202.

Lê, T. M., Phạm, Q. H., & Nguyễn, V. T. (2021). Economic growth and environmental sustainability in Vietnam: A critical assessment. *Asian Economic Policy Review*, 14(1), 117-134.

Lee C. Energy consumption and GDP in developing countries: a cointegrated panel analysis. *Energy Econ* 2005;27:415–27.

Li, K., Lin, B., & Zheng, X. (2015). A decomposition analysis of CO2 emissions from the electricity sector in China. *Energy Economics*, 49, 103-112.

Lin, B., & Long, H. (2016). A decomposition analysis of energy-related CO₂ emissions in Chinese chemical industry. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 58, 61-70.

Lise W. Decomposition of CO₂ emissions over 1980–2003 in Turkey. *Energy Policy* 2006;34:1841–52.

Liu, Y., & Wang, Y. (2017). Using the extended Kaya identity to measure China's energy consumption and forecast its future energy demand. *Energy Policy*, 110, 655-665.

Mavromatidis, G., Haurant, P., & Hollmuller, P. (2016). A decomposition analysis of CO₂ emissions and economic growth in Switzerland. *Applied Energy*, 179, 1383-1392.

Mensah, J. T., Marbuah, G., & Amoah, A. (2018). Energy consumption and carbon emissions: A disaggregated analysis for OECD and non-OECD countries. *Energy Policy*, 123, 280-290.

Ministry of Industry and Trade. (2023). *National energy reports*. Vietnam: Ministry of Industry and Trade.

MoF. (2024). *Vietnam Trade Report 2024*. Ministry of Finance.

Narayan PK, Narayan S. Carbon dioxide emissions and economic growth: panel data evidence from developing countries. *Energy Policy* 2010;38:661–6.

Narayan PK, Narayan S. Carbon dioxide emissions and economic growth: panel data evidence from developing countries. *Energy Policy* 2010;38:661–6.

[26] Ibrahim MH, Law SH. Social capital and CO₂ emission–output relations: a panel analysis. *Renew Sustain Energy Rev* 2014;29:528–34.

Nguyen, T. D., Pham, T. T., & Tran, N. M. (2018). Input-output structural analysis of CO₂ emissions in Vietnam: A production-consumption perspective. *Journal of Cleaner Production*, 198, 1404-1412.

Nguyen, T. H., Tran, D. Q., & Le, H. P. (2010). Monopolistic market structure and renewable energy development in Vietnam. *Energy Policy*, 38(6), 2683-2690.

OECD (2002) Sustainable development: indicators to measure decoupling of environmental pressure from economic growth, www.oecd.org/env/indicators-modelling_outlooks/1933638.pdf

Ortega-Ruiz, G., Mena-Nieto, A., & García-Ramos, J. E. (2020). Is India on the right pathway to reduce CO₂ emissions? Decomposing an enlarged Kaya identity

using the LMDI method for the period 1990–2016. *Science of The Total Environment*, 737, 139638.

Ouattara, B., 2004. Foreign Aid and Fiscal Policy in SENEGAL. Mimeo University of Manchester.

Ozawa, L., Zhang, X., & Zhao, D. (2002). Energy-related CO₂ emissions in Mexico: Decomposition analysis and energy policy implications. *Energy Policy*, 30(15), 1311-1321.

Ozturk I, Acaravci A. The causal relationship between energy consumption and GDP in Albania, Bulgaria, Hungary and Romania: evidence from ARDL bound testing approach. *Energy* 2010;87:1938–43.

Pani, S., & Mukhopadhyay, P. (2011). Decomposition of CO₂ emissions from energy use in India: A structural VAR approach. *Energy Economics*, 33(6), 1077-1087.

Pani, S., & Mukhopadhyay, P. (2013). Variance decomposition of CO₂ emissions from energy use in India. *Environmental and Resource Economics*, 56(4), 555-578.

Pao HT, Chen CC (2019) Decoupling strategies: CO2 emissions, energy resources, and economic growth in the Group of Twenty. *J Clean Prod* 206:907–919. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.09.190>

Perkins, D. H., & Anh, T. T. (2009). Vietnam's industrial policy: Designing policies for sustainable development. *Journal of Asian Economics*, 20(6), 593-609.

Pesaran, M.H., Shin, Y., Smith, R.J., 2001. Bounds testing approaches to the analysis of level relationships. *J. Appl. Econ.* 16, 289–326.

Pham, Q. H., Nguyen, T. T., & Hoang, V. K. (2017). Resource-efficient industries and sustainable growth in Vietnam. *Journal of Industrial Ecology*, 21(2), 438-449.

Phan, T. T., Nguyen, D. H., & Tran, M. T. (2020). Assessment of the impact of economic growth, energy consumption, and environmental degradation in Vietnam. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(9), 7892-7905.

Pietrosemoli L, Rodríguez-Monroy C. The impact of sustainable construction and knowledge management on sustainability goals. A review of the Venezuelan renewable energy sector. *Renew Sustain Energy Rev* 2013;27:683–91.

Rafaj, P., Amann, M., Siri, J., & Wuester, H. (2014). Changes in European greenhouse gas and air pollutant emissions 1960-2010: Decomposition of determining factors. *Climatic Change*, 124(3), 477-504.

Ren S, Hu Z (2012) Effects of decoupling of carbon dioxide emission by Chinese nonferrous metals industry. *Energy Pol* 43(2):407e414.

REN21. (2024). *Renewables Global Status Report 2024*. Renewable Energy Policy Network for the 21st Century.

Robalino-López, A., García-Ramos, J. E., Mena-Nieto, Á., & Golpe, A. (2014b). System dynamic modelling and the environmental Kuznets curve in Ecuador (1980-2025). *Energy Policy*, 67, 923-931.

Robalino-López, A., García-Ramos, J.E., Mena-Nieto, Á., Golpe, A., 2014b. System dynamic modelling and the environmental Kuznets curve in Ecuador (1980-2025). *Energy Policy* 67, 923–931.

Robalino-López, A., Mena-Nieto, Á., & García-Ramos, J. E. (2014a). System dynamics modeling for renewable energy and CO₂ emissions: A case study of Ecuador. *Energy for Sustainable Development*, 20, 11-20.

Robalino-López, A., Mena-Nieto, Á., García-Ramos, J. E., & Golpe, A. A. (2015). Studying the relationship between economic growth, CO₂ emissions, and the environmental Kuznets curve in Venezuela (1980–2025). *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 41, 602-614.

Robalino-López, A., Mena-Nieto, Á., García-Ramos, J.E., 2014a. System dynamics modeling for renewable energy and CO₂ emissions: a case study of Ecuador. *Energy Sustain. Dev.* 20, 11–20.

Robalino-López, A., Mena-Nieto, Á., García-Ramos, J.E., Golpe, A., 2015. Studying the relationship between economic growth, CO₂ emissions, and the environmental Kuznets curve in Venezuela (1980-2025). *Renew. Sust. Energ. Rev.* 41, 602–614.

Sandu, S., Smith, P., & McKenzie, F. H. (2019). Drivers of CO₂ emissions in the ASEAN countries: An empirical analysis. *Energy Policy*, 127, 202-212.

Shafik N, Bandyopadhyay S. Economic growth and environmental quality: time series and cross-country evidence. Background Paper for the World Development Report 1992. World Bank, Washington D.C.; 1992.

Shah, M., & Zeeshan, M. (2016). An econometric analysis of CO₂ emissions, energy consumption and economic growth: Empirical evidence from Pakistan. *Energy Policy*, 98, 125-134.

Shah, M., Khan, S., & Sulaiman, M. (2019). The role of transport sector in energy consumption and environmental pollution in Pakistan. *Journal of Cleaner Production*, 225, 201-209.

Shahbaz M, Leanb H, Buysed J, Shahbaz Shabbira M. Environmental Kuznets curve hypothesis in Pakistan: cointegration and Granger causality. *Renew Sustain Energy Rev* 2012;16:2947–53.

Shahbaz M, Mutascu M, Azim P. Environmental Kuznets curve in Romania and the role of energy consumption. *Renew Sustain Energy Rev* 2013;18:165–73.

Shahbaz, M., Mallick, H., Mahalik, M. K., & Loganathan, N. (2019). The impact of electricity consumption, economic growth, financial development and foreign direct investment on CO₂ emissions in Malaysia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 59, 1473-1481.

Shem, S., Zhao, X., & Li, G. (2019). Changing fuel mix and its impact on CO₂ emissions in Vietnam. *Energy Policy*, 132, 95-104.

Socialist Republic of Viet Nam. (2022, November 9). *NDC updated in 2022*. Retrieved from UNFCCC: https://unfccc.int/sites/default/files/NDC/202211/Viet%20Nam_NDC_2022_Eng.pdf

Soytas U, Sari R, Özdemir O. Energy consumption and GDP relation in Turkey: a cointegration and vector error correction analysis. *Economies and business in transition: facilitating competitiveness and change in the global environment proceedings, global business and technology association*, vol. 1; 2001. p. 838–44.

Soytas U, Sari R. Energy consumption and GDP: causality relationship in G-7 countries and emerging markets. *Energy Econ* 2003;25:33–7.

Steffen, W., Rockström, J., & Richardson, K. (2018). Planetary boundaries: Guiding a new era of sustainability. *Science*, 347(6223), 1259-1282.

Taka, M., Zhang, X., & Zhao, D. (2020). Decomposition analysis of CO₂ emissions in Ethiopia: Evidence from the energy sector. *Energy Policy*, 137, 111-118.

Tang, C. F., Tan, B. W., & Ozturk, I. (2016). Energy consumption and economic growth in Vietnam. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 54, 1506-1514.

Tapio P (2005) Towards a theory of decoupling: degrees of decoupling in the EU and the case of road traffic in Finland between 1970 and 2001. *Transp Policy* 12(2):137–151 <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0967070X05000028>

Tran, Q. K., & Le, N. T. (2020). Energy transition and economic development in Vietnam: An overview. *Journal of Cleaner Production*, 289, 124567. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124567>

Tran, Q. P., & Le, V. D. (2012). State-owned enterprises and energy infrastructure development in Vietnam. *Energy Economics*, 34(4), 1121-1131.

Tunc, G. I., Turut-Asik, S., & Akbostanci, E. (2009). A decomposition analysis of CO₂ emissions from energy use: Turkish case. *Energy Policy*, 37(11), 4689-4699.

UNEP. (2023). *Emissions Gap Report 2023*. United Nations Environment Programme.

United Nations. (2021, September). *High-Level Dialogue on Energy*. Retrieved from https://www.un.org/sites/un2.un.org/files/2021-twg_2-062321.pdf

Van Nguyen, L., & Le, T. H. (2020). Eco-industrial parks: A pathway towards sustainable industrial development in Vietnam. *Cleaner Production and Circular Economy*, 15(1), 23-34.

Vehmas J, Luukkanen J, Kaivo-oja J (2003) Material flows and economic growth. Finland, Turku School of Economics and Business Administration, p 9e11 https://www.utu.fi/fi/yksikot/ffrc/julkaisut/tutu-julkaisut/Documents/Tutu_2003-8.pdf

Vietnam Energy Efficiency Program. (2022). *Vietnam Energy Efficiency Program Annual Report 2022*.

Wang Q, Jiang R (2019) Is China's economic growth decoupled from carbon emissions? *J Clean Prod* 225:1194–1208. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.03.301>

Wang Q, Zhao M, Li R, Su M (2018) Decomposition and decoupling analysis of carbon emissions from economic growth: a comparative study of China and

the United States. *J Clean Prod* 197:178–184.

<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.05.285>

Wang, Q., Li, R., 2016. Drivers for energy consumption: a comparative analysis of China and India. *Renew. Sust. Energ. Rev.* 62, 954–962.

Wang, Y., & Zhang, X. (2012). Decomposition of energy-related CO₂ emissions in China: Evidence from the industrial sector. *Energy Policy*, 53, 171-182.

Wang, Y., Zhang, X., & Zhao, D. (2014). Decomposition of energy-related CO₂ emissions in China: Evidence from the transportation sector. *Energy Economics*, 45, 416-423.

Wang, Y., Zhang, X., & Zhao, D. (2016). Decomposition analysis of energy-related CO₂ emissions from the BRICS countries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 56, 932-942.

Wang, Y., Zhang, X., & Zhao, D. (2019). Decomposition analysis of carbon emissions in the industrial sector: Evidence from China's provincial panel data. *Ecological Indicators*, 102, 88-99.

Weizsacker EUV (1990) *Erdpolitik : ökologische Realpolitik an der Schwelle zum 21. Jahrhundert der Umwelt*. Wissenschaftliche Buchgesellschaft.

World Bank. (2024). *World Development Indicators*. The World Bank.

World Resources Institute. (2020). *CAIT Climate Data Explorer*. World Resources Institute.

Wu Y, Zhu Q, Zhu B (2018) Decoupling analysis of world economic growth and CO₂ emissions: a study comparing developed and developing countries. *J Clean Prod* 190:94–103 Available at <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652618311661>

Yang, J., Cai, W., Ma, M., Li, L., Liu, C., Ma, X., Li, L., Chen, X., 2020. Driving forces of China's CO₂ emissions from energy consumption based on Kaya-LMDI methods. *Sci. Total Environ.* 711, 134569.

Yao, M., Zhang, X., & Zhao, D. (2015). Decomposition analysis of CO₂ emissions for G20 countries: The impact of energy intensity and carbon intensity. *Energy Policy*, 82, 208-221.

Yeo, Y., Shim, D., Lee, J. D., & Altmann, J. (2015). Driving forces of CO₂ emissions in emerging countries: LMDI decomposition analysis on China and India's residential sector. *Sustainability*, 7(12), 16108-16129.

Zhang Z (2000) Decoupling China's carbon emissions increase from economic growth: an economic analysis and policy implications: 28(4). [https://doi.org/10.1016/S0305-750X\(99\)00154-0](https://doi.org/10.1016/S0305-750X(99)00154-0)

Zhang, H., Nguyen, C. H., & Pham, T. D. (2020). Economic growth, energy consumption, and CO₂ emissions in Vietnam: A Vector Autoregression approach. *Journal of Cleaner Production*, 254, 120100. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120100>

Zhang, X., & Wang, Y. (2014). Decomposition analysis of energy-related CO₂ emissions in China's industrial sector. *Journal of Cleaner Production*, 103, 562-570.

Zhang, X., Zhao, D., & Wang, Y. (2017). Decomposition analysis of energy-related CO₂ emissions from the transportation sector in OECD countries. *Energy Poli.*

8. ANEXOS

Anexo I. Resultados detallados de la descomposición aditiva y de la multiplicativa

Tabla 7. Descomposición aditiva LMDI para las variaciones de emisiones de CO₂ (en toneladas) en Viet Nam en serie anual desde 1990 a 2020

<i>Intervalo de tiempo (años)</i>	Cpop	Cpib	Cint	Cmix	Ctot
90-91	0,27	0,47	-0,37	0,51	0,88
90-92	0,58	1,36	-0,83	1,74	2,85
90-93	0,93	2,37	-0,70	3,24	5,84
90-94	1,26	3,50	-2,25	4,67	7,18
90-95	1,68	5,13	-3,04	7,16	10,94
90-96	2,07	6,74	-4,00	8,41	13,22
90-97	2,46	8,35	-4,63	9,67	15,85
90-98	2,81	9,42	-4,94	9,99	17,29
90-99	3,15	10,35	-5,23	10,36	18,63
90-00	3,48	11,82	-5,92	10,99	20,37
90-01	3,95	13,77	-6,25	12,89	24,36
90-02	4,51	16,07	-6,54	15,30	29,34
90-03	5,01	18,35	-6,79	16,56	33,12
90-04	5,80	21,95	-7,07	20,62	41,30
90-05	6,28	24,49	-7,96	21,80	44,62
90-06	6,58	26,22	-9,50	21,41	44,70
90-07	7,37	30,02	-10,04	24,31	51,66
90-08	8,33	34,14	-10,35	28,46	60,58
90-09	9,39	38,45	-10,11	32,03	69,76
90-10	10,53	43,44	-10,25	35,51	79,22
90-11	10,83	44,98	-12,11	34,72	78,41

90-12	10,99	45,58	-13,35	33,14	76,36
90-13	11,86	49,14	-14,02	34,88	81,86
90-14	12,91	53,80	-14,63	37,31	89,40
90-15	12,10	50,95	-22,40	34,05	74,70
90-16	12,90	54,80	-23,37	35,33	79,67
90-17	13,85	59,46	-24,82	37,14	85,64
90-18	16,51	71,96	-25,64	46,53	109,36
90-19	18,39	81,31	-27,14	52,41	124,97
90-20	20,14	87,93	-28,56	60,58	140,09

Tabla 8. Descomposición multiplicativa LMDI para las variaciones de emisiones de CO₂ en Viet Nam en serie anual desde 1990 a 2020

<i>Intervalo de tiempo (años)</i>	<i>Dpop</i>	<i>Dpib</i>	<i>Dint</i>	<i>Dmix</i>	<i>Dtot</i>
90-91	1,022	1,037	0,971	1,041	1,071
90-92	1,043	1,104	0,941	1,135	1,229
90-93	1,064	1,169	0,955	1,238	1,471
90-94	1,083	1,249	0,867	1,346	1,579
90-95	1,102	1,345	0,839	1,513	1,881
90-96	1,120	1,448	0,803	1,586	2,065
90-97	1,136	1,542	0,786	1,652	2,277
90-98	1,153	1,609	0,779	1,656	2,393
90-99	1,167	1,664	0,773	1,665	2,501
90-00	1,180	1,757	0,754	1,688	2,641
90-01	1,193	1,847	0,757	1,777	2,963
90-02	1,205	1,943	0,763	1,883	3,364
90-03	1,217	2,055	0,766	1,915	3,668
90-04	1,228	2,178	0,778	2,078	4,327

90-05	1,239	2,309	0,762	2,107	4,595
90-06	1,252	2,448	0,723	2,077	4,601
90-07	1,264	2,595	0,727	2,165	5,162
90-08	1,276	2,714	0,739	2,299	5,880
90-09	1,290	2,834	0,760	2,382	6,620
90-10	1,304	2,992	0,772	2,450	7,382
90-11	1,316	3,132	0,735	2,414	7,317
90-12	1,327	3,236	0,709	2,348	7,151
90-13	1,341	3,377	0,707	2,372	7,595
90-14	1,355	3,548	0,709	2,407	8,202
90-15	1,371	3,777	0,558	2,430	7,018
90-16	1,07	1,44	1,98	2,43	7,42
90-17	1,07	1,47	2,04	2,45	7,90
90-18	1,07	1,50	2,30	2,64	9,81
90-19	1,07	1,52	2,47	2,74	11,07
90-20	1,08	1,42	2,73	2,96	12,29

Anexo II. Datos históricos oficiales de la población, del PIB y emisiones CO₂ y consumo energético de Viet Nam 1990-2022)

Tabla 9. Crecimiento de la Población, PIB y PIB per cápita

Años	Población	PIB a precio constante del 2015 en US\$	Pib per cápita
1990	6,69E+07	4,51E+10	6,73E+02
1991	6,84E+07	4,77E+10	6,98E+02
1992	6,98E+07	5,19E+10	7,43E+02
1993	7,12E+07	5,61E+10	7,88E+02
1994	7,25E+07	6,10E+10	8,42E+02
1995	7,38E+07	6,68E+10	9,06E+02
1996	7,49E+07	7,31E+10	9,75E+02
1997	7,61E+07	7,90E+10	1,04E+03
1998	7,71E+07	8,36E+10	1,08E+03
1999	7,81E+07	8,76E+10	1,12E+03
2000	7,90E+07	9,35E+10	1,18E+03
2001	7,98E+07	9,93E+10	1,24E+03
2002	8,06E+07	1,06E+11	1,31E+03
2003	8,15E+07	1,13E+11	1,39E+03
2004	8,23E+07	1,21E+11	1,47E+03
2005	8,31E+07	1,31E+11	1,57E+03
2006	8,40E+07	1,40E+11	1,66E+03
2007	8,48E+07	1,50E+11	1,77E+03
2008	8,56E+07	1,58E+11	1,85E+03
2009	8,65E+07	1,67E+11	1,93E+03
2010	8,74E+07	1,77E+11	2,03E+03
2011	8,83E+07	1,89E+11	2,14E+03
2012	8,93E+07	1,99E+11	2,23E+03
2013	9,03E+07	2,10E+11	2,33E+03
2014	9,12E+07	2,24E+11	2,45E+03
2015	9,22E+07	2,39E+11	2,60E+03
2016	9,31E+07	2,55E+11	2,74E+03
2017	9,40E+07	2,73E+11	2,90E+03
2018	9,49E+07	2,93E+11	3,09E+03
2019	9,58E+07	3,15E+11	3,29E+03
2020	9,66E+07	3,24E+11	3,35E+03

Tabla 10. Consumo de Energía por Fuente (en toe)

Años	Carbón (1)	Productos petrolífe- ros (2)	Gas natural (3)	Biocombu- stibles y desechos (4)	Electricida- d (5)	Viento, solar, etc. (6)	Consumo total
1990	1,33E+06	2,33E+06	1,00E+00	1,18E+07	5,32E+05	0,00E+00	1,59E+07
1991	1,60E+06	2,25E+06	9,00E+03	1,20E+07	5,66E+05	0,00E+00	1,64E+07
1992	1,77E+06	2,67E+06	1,46E+04	1,22E+07	5,96E+05	0,00E+00	1,73E+07
1993	1,79E+06	3,63E+06	1,44E+04	1,28E+07	6,74E+05	0,00E+00	1,89E+07
1994	1,83E+06	4,01E+06	1,62E+04	1,20E+07	7,98E+05	0,00E+00	1,87E+07
1995	2,61E+06	4,23E+06	2,16E+04	1,20E+07	9,63E+05	0,00E+00	1,98E+07
1996	2,69E+06	4,86E+06	2,07E+04	1,20E+07	1,15E+06	0,00E+00	2,08E+07
1997	3,33E+06	4,90E+06	1,98E+04	1,24E+07	1,32E+06	0,00E+00	2,20E+07
1998	3,30E+06	5,40E+06	1,89E+04	1,28E+07	1,52E+06	0,00E+00	2,30E+07
1999	3,17E+06	6,02E+06	1,89E+04	1,31E+07	1,68E+06	0,00E+00	2,39E+07
2000	3,22E+06	6,51E+06	1,80E+04	1,33E+07	1,93E+06	0,00E+00	2,49E+07
2001	3,74E+06	7,14E+06	1,53E+04	1,35E+07	2,21E+06	0,00E+00	2,66E+07
2002	4,02E+06	8,41E+06	1,89E+04	1,35E+07	2,59E+06	0,00E+00	2,85E+07
2003	4,10E+06	9,53E+06	1,89E+04	1,39E+07	3,00E+06	0,00E+00	3,06E+07
2004	4,85E+06	1,10E+07	2,70E+05	1,38E+07	3,40E+06	0,00E+00	3,34E+07
2005	5,27E+06	1,14E+07	5,37E+05	1,39E+07	4,05E+06	0,00E+00	3,51E+07
2006	5,42E+06	1,12E+07	4,85E+05	1,38E+07	4,63E+06	0,00E+00	3,56E+07
2007	5,93E+06	1,28E+07	5,41E+05	1,38E+07	5,27E+06	0,00E+00	3,84E+07
2008	8,12E+06	1,28E+07	6,66E+05	1,38E+07	5,83E+06	0,00E+00	4,12E+07
2009	8,93E+06	1,48E+07	6,39E+05	1,38E+07	6,61E+06	0,00E+00	4,47E+07
2010	9,81E+06	1,68E+07	4,93E+05	1,38E+07	7,47E+06	0,00E+00	4,84E+07
2011	1,02E+07	1,58E+07	8,49E+05	1,39E+07	8,14E+06	0,00E+00	4,89E+07
2012	9,74E+06	1,53E+07	1,44E+06	1,41E+07	9,06E+06	0,00E+00	4,96E+07
2013	1,09E+07	1,56E+07	1,46E+06	1,43E+07	9,99E+06	0,00E+00	5,22E+07
2014	1,18E+07	1,67E+07	1,65E+06	1,45E+07	1,10E+07	7,17E+01	5,57E+07

2015	7,86E+06	1,74E+07	1,05E+06	8,16E+06	1,23E+07	7,17E+01	4,68E+07
2016	7,95E+06	1,87E+07	1,31E+06	7,92E+06	1,37E+07	9,55E+01	4,96E+07
2017	8,55E+06	1,99E+07	1,38E+06	7,75E+06	1,49E+07	9,55E+01	5,25E+07
2018	1,37E+07	2,09E+07	1,43E+06	7,79E+06	1,65E+07	1,19E+02	6,03E+07
2019	1,69E+07	2,19E+07	1,40E+06	7,45E+06	1,80E+07	1,19E+02	6,56E+07
2020	2,21E+07	2,00E+07	1,42E+06	5,71E+06	1,87E+07	1,67E+02	6,80E+07

Tabla 11. Emisiones de CO₂ (en toneladas)

AÑOS	Carbón (1)	Productos petrolíferos (2)	Gas natural (3)	Biocombustibles y desechos (4)	Electricidad (5)	Viento, solar, etc. (6)	CO2 (Total)
1990	5,27E+00	7,15E+00	2,35E-06	1,18E-22	5,32E-24	0,00E+00	1,24E+01
1991	6,36E+00	6,92E+00	2,11E-02	1,20E-22	5,66E-24	0,00E+00	1,33E+01
1992	7,03E+00	8,20E+00	3,44E-02	1,22E-22	5,96E-24	0,00E+00	1,53E+01
1993	7,08E+00	1,11E+01	3,38E-02	1,28E-22	6,74E-24	0,00E+00	1,83E+01
1994	7,24E+00	1,23E+01	3,80E-02	1,20E-22	7,98E-24	0,00E+00	1,96E+01
1995	1,03E+01	1,30E+01	5,07E-02	1,20E-22	9,63E-24	0,00E+00	2,34E+01
1996	1,07E+01	1,49E+01	4,86E-02	1,20E-22	1,15E-23	0,00E+00	2,56E+01
1997	1,32E+01	1,50E+01	4,65E-02	1,24E-22	1,32E-23	0,00E+00	2,83E+01
1998	1,31E+01	1,66E+01	4,44E-02	1,28E-22	1,52E-23	0,00E+00	2,97E+01
1999	1,25E+01	1,85E+01	4,44E-02	1,31E-22	1,68E-23	0,00E+00	3,10E+01
2000	1,28E+01	2,00E+01	4,22E-02	1,33E-22	1,93E-23	0,00E+00	3,28E+01
2001	1,48E+01	2,19E+01	3,59E-02	1,35E-22	2,21E-23	0,00E+00	3,68E+01
2002	1,59E+01	2,58E+01	4,44E-02	1,35E-22	2,59E-23	0,00E+00	4,18E+01
2003	1,63E+01	2,92E+01	4,44E-02	1,39E-22	3,00E-23	0,00E+00	4,55E+01
2004	1,92E+01	3,39E+01	6,34E-01	1,38E-22	3,40E-23	0,00E+00	5,37E+01
2005	2,09E+01	3,49E+01	1,26E+00	1,39E-22	4,05E-23	0,00E+00	5,70E+01
2006	2,15E+01	3,45E+01	1,14E+00	1,38E-22	4,63E-23	0,00E+00	5,71E+01
2007	2,35E+01	3,93E+01	1,27E+00	1,38E-22	5,27E-23	0,00E+00	6,41E+01
2008	3,22E+01	3,93E+01	1,56E+00	1,38E-22	5,83E-23	0,00E+00	7,30E+01
2009	3,54E+01	4,53E+01	1,50E+00	1,38E-22	6,61E-23	0,00E+00	8,22E+01
2010	3,89E+01	5,16E+01	1,16E+00	1,38E-22	7,47E-23	0,00E+00	9,16E+01
2011	4,03E+01	4,85E+01	1,99E+00	1,39E-22	8,14E-23	0,00E+00	9,08E+01
2012	3,86E+01	4,68E+01	3,38E+00	1,41E-22	9,06E-23	0,00E+00	8,88E+01
2013	4,30E+01	4,78E+01	3,43E+00	1,43E-22	9,99E-23	0,00E+00	9,43E+01
2014	4,66E+01	5,13E+01	3,87E+00	1,45E-22	1,10E-22	7,17E-28	1,02E+02
2015	3,11E+01	5,35E+01	2,47E+00	8,16E-23	1,23E-22	7,17E-28	8,71E+01
2016	3,15E+01	5,75E+01	3,07E+00	7,92E-23	1,37E-22	9,55E-28	9,21E+01
2017	3,39E+01	6,09E+01	3,24E+00	7,75E-23	1,49E-22	9,55E-28	9,81E+01
2018	5,42E+01	6,42E+01	3,35E+00	7,79E-23	1,65E-22	1,19E-27	1,22E+02
2019	6,70E+01	6,71E+01	3,29E+00	7,45E-23	1,80E-22	1,19E-27	1,37E+02
2020	8,77E+01	6,15E+01	3,35E+00	5,71E-23	1,87E-22	1,67E-27	1,53E+02

Anexo III. Factores emisión de diversos tipos de combustibles

Tabla 12. Factores de emisión para combustión. Fuente: IPCC (2006)

CUADRO 1.4 FACTORES DE EMISIÓN DE CO ₂ POR DEFECTO PARA LA COMBUSTIÓN ¹						
Descripción en español del tipo de combustible	Contenido de carbono por defecto (kg/GJ)	Factor de oxidación de carbono por defecto	Factor de emisión de CO ₂ eficaz (kg/TJ) ²			
			Valor por defecto ³	Intervalo de confianza del 95%		
	A	B	$C=A*B*44/12*1000$	Inferior	Superior	
Petróleo crudo	20,0	1	73 300	71 100	75 500	
Orimulsión	21,0	1	77 000	69 300	85 400	
Gas natural licuado	17,5	1	64 200	58 300	70 400	
Gasolina	Gasolina para motores	18,9	1	69 300	67 500	73 000
	Gasolina para la aviación	19,1	1	70 000	67 500	73 000
	Gasolina para motor a reacción	19,1	1	70 000	67 500	73 000
Queroseno para motor a reacción	19,5	1	71 500	69 700	74 400	
Otro queroseno	19,6	1	71 900	70 800	73 700	
Esquisto bituminoso	20,0	1	73 300	67 800	79 200	
Gas/Diesel oil	20,2	1	74 100	72 600	74 800	
Fuelóleo residual	21,1	1	77 400	75 500	78 800	
Gases licuados de petróleo	17,2	1	63 100	61 600	65 600	
Etano	16,8	1	61 600	56 500	68 600	
Nafta	20,0	1	73 300	69 300	76 300	
Alquitrán	22,0	1	80 700	73 000	89 900	
Lubricantes	20,0	1	73 300	71 900	75 200	
Coque de petróleo	26,6	1	97 500	82 900	115 000	
Sustancia para alimentación a procesos de refinerías	20,0	1	73 300	68 900	76 600	
Otro petróleo	Gas de refinería	15,7	1	57 600	48 200	69 000
	Ceras de parafina	20,0	1	73 300	72 200	74 400
	Espíritu blanco y SBP	20,0	1	73 300	72 200	74 400
Otros productos del petróleo	20,0	1	73 300	72 200	74 400	
Antracita	26,8	1	98 300	94 600	101 000	
Carbón de coque	25,8	1	94 600	87 300	101 000	
Otro carbón bituminoso	25,8	1	94 600	89 500	99 700	
Carbón sub-bituminoso	26,2	1	96 100	92 800	100 000	
Lignito	27,6	1	101 000	90 900	115 000	
Esquisto bituminoso y arena impregnada de alquitrán	29,1	1	107 000	90 200	125 000	
Briquetas de carbón de lignito	26,6	1	97 500	87 300	109 000	
Combustible evidente	26,6	1	97 500	87 300	109 000	
Coque	Coque para horno de coque y Coque de lignito	29,2	1	107 000	95 700	119 000
	Coque de gas	29,2	1	107 000	95 700	119 000
Alquitrán de hulla	22,0	1	80 700	68 200	95 300	
Gases derivados	Gas de fábricas de gas	12,1	1	44 400	37 300	54 100
	Gas de horno de coque	12,1	1	44 400	37 300	54 100
	Gas de alto horno ⁴	70,8	1	260 000	219 000	308 000
	Gas de horno de oxígeno para aceros ⁵	49,6	1	182 000	145 000	202 000

CUADRO 1.4 (CONTINUACIÓN)
FACTORES DE EMISIÓN DE CO₂ POR DEFECTO PARA LA COMBUSTIÓN¹

Descripción en español del tipo de combustible	Contenido de carbono por defecto (kg/GJ)	Factor de oxidación de carbono por defecto	Factor de emisión de CO ₂ eficaz (kg/TJ) ²			
			Valor por defecto	Intervalo de confianza del 95%		
	A	B	$C=A*B*44/12*1000$	Inferior	Superior	
Gas natural	15,3	1	56 100	54 300	58 300	
Desechos municipales (fracción no perteneciente a la biomasa)	25,0	1	91 700	73 300	121 000	
Desechos industriales	39,0	1	143 000	110 000	183 000	
Óleo de desecho	20,0	1	73 300	72 200	74 400	
Turba	28,9	1	106 000	100 000	108 000	
Biocombustibles sólidos	Madera/Desechos de madera	30,5	1	112 000	95 000	132 000
	Lejía de sulfito (licor negro) ⁵	26,0	1	95 300	80 700	110 000
	Otra biomasa sólida primaria	27,3	1	100 000	84 700	117 000
	Carbón vegetal	30,5	1	112 000	95 000	132 000
Biocombustibles líquidos	Biogasolina	19,3	1	70 800	59 800	84 300
	Biodiésel	19,3	1	70 800	59 800	84 300
	Otros biocombustibles líquidos	21,7	1	79 600	67 100	95 300
Biomasa gaseosa	Gas de vertedero	14,9	1	54 600	46 200	66 000
	Gas de digestión de lodos cloacales	14,9	1	54 600	46 200	66 000
	Otro biogás	14,9	1	54 600	46 200	66 000
Otros combustibles no fósiles	Desechos municipales (fracción perteneciente a la biomasa)	27,3	1	100 000	84 700	117 000

Notas:

¹ Límites inferior y superior de los intervalos de confianza del 95 por ciento, suponiendo distribuciones lognormales, ajustado a un conjunto de datos, sobre la base de los informes de inventarios nacionales, los datos de la AIE y los datos nacionales disponibles. Se presenta una descripción más detallada en la sección 1.5

² TJ = 1000GJ

³ Los valores del factor de emisión para BFG incluyen el dióxido de carbono contenido originalmente en este gas, así como el creado debido a su quema.

⁴ Los valores del factor de emisión para OSF incluyen el dióxido de carbono contenido originalmente en este gas, así como el que se forma como consecuencia de la quema.

⁵ Incluye el CO₂ derivado de la biomasa emitido desde la unidad de combustión de licor negro y el CO₂ derivado de la biomasa emitido desde el horno de cal de la planta de kraft.