ANÁLISIS DEL DESARROLLO ENERGÉTICO, ECONÓMICO Y EMISIONES DE CO_2 PARA ESTADOS UNIDOS

Manuel Alejandro Sáez Fleites

Trabajo entregado para la obtención del grado de Máster en "Tecnología Ambiental"

Modalidad: "Investigación"

Septiembre / 2024

Director:

Dr. José Enrique García Ramos

D. José Enrique García Ramos, DNI: 75443776G, catedrático de Universidad del Departamento de Ciencias Integradas.

INFORMAN:

Que el trabajo titulado **"Análisis del desarrollo energético, económico y emisiones de CO_2 para Estados Unidos"** presentado por **D. Manuel Alejandro Sáez Fleites, con NIE.: Z-0290070-E,** ha sido realizado en **Departamento de Ciencias Integradas"**, bajo mi dirección, y autorizo 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

Firmado por GARCIA RAMOS JOSE ENRIQUE - ***4377** el día 16/09/2024 con un certificado emitido por AC FNMT Usuarios

"¿Rúbrica o firma con certificado digital?"

Fdo.: Nombre del director/es del trabajo de fin de máster

RESUMEN

El calentamiento global, muy probablemente causado por actividades humanas, ha elevado las emisiones de CO_2, acelerando el cambio climático. Acuerdos internacionales buscan mitigar estos efectos, mientras estudios analizan factores económicos, energéticos y poblacionales. Limitar el calentamiento a 1,5°C requiere reducir drásticamente las emisiones y adoptar nuevas tecnologías. La acción climática es crucial para evitar consecuencias catastróficas, especialmente para comunidades vulnerables. Para identificar el efecto en Estados Unidos nos planteamos los siguientes objetivos, obtener y analizar datos ambientales y socioeconómicos relevantes para discutir el impacto de CO_2, aplicar la metodología LMDI al modelo de Fernández-González *et al.* (2014) para analizar las emisiones de CO_2 en Estados Unidos de 1990 a 2018, examinar factores como población, PIB per cápita, intensidad energética y mix energético. Para ello se recopilaron datos de emisiones de CO_2, PIB, población, consumo energético y factores de emisión de fuentes como el Banco Mundial, Statista e IPCC para el periodo 2002-2022. Se utilizó el método Logarithmic Mean Divisia Index (LMDI) para descomponer las variaciones en emisiones, aplicando análisis aditivos y multiplicativos para identificar factores influyentes. A partir de los cual se encontró que el crecimiento del PIB per cápita y la población son los principales impulsores del aumento de las emisiones. La eficiencia energética y el mix de combustibles ayudaron a reducirlas, aunque no suficientemente. Se destacan diferencias sectoriales y se enfatiza la necesidad de políticas más efectivas y una transición acelerada hacia energías limpias. Futuros estudios deben considerar datos más recientes y nuevas tecnologías.

Palabras Claves: calentamiento global, emisiones, energía, PIB

ABSTRACT

Global warming, most likely driven by human activities, has increased CO_2 emissions, accelerating climate change. International agreements aim to mitigate these effects, while studies explore economic, energy, and population factors. Limiting warming to 1.5°C requires a significant reduction in emissions and the adoption of new technologies. Climate action is essential to prevent catastrophic consequences, particularly for vulnerable communities. To assess the impact in the United States, the following objectives were set: collect and analyze relevant environmental and socioeconomic data to discuss the impact of CO_2, apply the LMDI methodology to the model by Fernández-González *et al*. (2014) to analyze U.S. CO_2 emissions from 1990 to 2018, and examine factors such as population, GDP per capita, energy intensity, and the energy mix. Data on CO_2 emissions, GDP, population, energy consumption, and emission factors were gathered from sources like the World Bank, Statista, and IPCC for the 2002-2022 period. The Logarithmic Mean Divisia Index (LMDI) method was used to decompose emission variations, applying additive and multiplicative analyses to identify influential factors. The findings indicate that GDP per capita growth and population are the main drivers of increased emissions. Energy efficiency and the fuel mix contributed to emission reductions, though not sufficiently. Sectoral differences were highlighted, emphasizing the need for more effective policies and an accelerated transition to clean energy. Future studies should consider more recent data and emerging technologies.

Keywords: global warming, emissions, energy, GDP

Agradecimientos

A lo largo de este camino que me ha llevado a la culminación de mi maestría, quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que, de una u otra manera, han sido parte fundamental de este logro.

En primer lugar, agradezco profundamente a mi familia, quienes, a pesar de la distancia, siempre han estado presentes brindándome su apoyo incondicional. Aunque nos separen kilómetros, siento su cariño y aliento a cada paso que doy. A mis padres, abuelos y demás seres queridos que se encuentran en mi país, les dedico este logro, que es tanto mío como suyo.

A mi esposa, mi mayor compañera y apoyo en este viaje. Gracias por tu paciencia, amor y constante estímulo en los momentos más difíciles. Sin tu presencia y comprensión, este camino habría sido mucho más difícil.

También quiero agradecer a mi tutor por su paciencia, inquebrantable comprensión e incansable dedicación, quien me ha brindado su orientación experta, su tiempo y sus sabios consejos a lo largo de este proceso. Su guía ha sido esencial para el desarrollo de esta tesis y me ha inspirado a mejorar cada día.

Finalmente, extiendo mi gratitud a todos aquellos amigos, colegas y profesores que de alguna manera han contribuido en este camino académico. Cada uno de ustedes ha dejado una huella en este logro que hoy celebro.

Gracias a la Universidad Internacional de Andalucía, a la Universidad de Huelva, a los trabajadores del Campus de la Rábida y al Grupo de Universidades de La Rábida.

Gracias a todos.

ÍNDICE

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN 1

1.1. Problema 1

1.2. Cambio climático y calentamiento global 4

1.3. Cambio climático. Definición 5

1.4. Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático 7

1.5. Protocolo de Kioto y Acuerdo de París 7

1.6. Año 2030 10

1.7. ¿Cuál es la relevancia de examinar la Matriz Energética? 11

1.8. Estados Unidos 12

1.9. Propósito de la Investigación 12

1.10. Estado del problema y revisión bibliográfica. 13

Objetivos 19

General 19

Específicos 19

CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS 21

2.1. Materiales 21

2.2.1. Formulación del modelo 22

2.2.2. Descomposición aditiva y multiplicativa a través del método LMDI 24

CAPÍTULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN 29

3.1. Recopilación de datos 30

3.2. Análisis de los resultados en el período único 1990-2018 para los distintos sectores económicos de Estados Unidos 30

3.3. Análisis de los resultados en series de tiempo entre 1990-2018 33

3.3.1. Análisis de los resultados para el conjunto de Estados Unidos 33

3.3.2. Análisis de los resultados para cada uno de los sectores económicos de los Estados Unidos 37

CONCLUSIONES 53

BIBLIOGRAFÍA 56

ANEXOS 60

Datos de población 60

PIB per-cápita 61

Consumo de energía 62

Intensidad Energética 63

Mix de combustibles 64

Factor de emisión 70

Resultados 71

Abreviaturas

IPCC Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático

CO_2 Dióxido de carbono.

NASA Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio (*National Aeronautics and Space Administration*).

ONG Organización No Gubernamental.

CMMAD Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo

CMNUCC Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático

GEI Gases de Efecto Invernadero

PNUMA Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente

$GtCO_2eq$ Gigatoneladas de CO_2 equivalente

CH_4 Metano

N_2O Óxido nitroso

COP Conferencia de las partes

NDC Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional

ODS Objetivos de Desarrollo Sostenible

ODM Objetivos de Desarrollo del Milenio

ONU Organización de Naciones Unidas

EUA Estados Unidos de América

PIB Producto Interno Bruto

LMDI Descomposición Logarítmica del Índice Divisia (*Logarithmic Mean Divisia Index*)

IDA Agencia Internacional de Desarrollo (*International Development Agency*).

SDA Análisis de Descomposición Estructural (*Structural Decomposition*

Analysis)

RLM Regresión de Mínimos Cuadrados

kg kilogramos

ktoe kilotoneladas de petróleo equivalente

Tj terajulios

toe toneladas de petróleo equivalente

US$ dólares estadounidenses

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1. Problema

En las últimas décadas, el calentamiento global inducido por actividades antropogénicas ha alcanzado niveles sin precedentes. Según el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), en 2017 el calentamiento provocado por el ser humano alcanzó aproximadamente 1°C por encima de los niveles preindustriales, con una tasa de incremento de 0,2°C por década. Este aumento en la temperatura global se define como la combinación de las temperaturas superficiales del aire y del océano, promediadas globalmente en un período de 30 años. A efectos comparativos, el período 1850-1900 se emplea como referencia para los niveles de temperatura preindustrial. El análisis del IPCC muestra que entre los niveles preindustriales y la década 2006-2015, el incremento fue de 0,87°C, lo que refleja el impacto significativo de las actividades humanas en el sistema climático global (IPCC, 2018).

Este fenómeno de calentamiento global no se distribuye de manera uniforme a nivel mundial. Las áreas terrestres han experimentado un mayor calentamiento en comparación con las regiones oceánicas, y se estima que entre el 20 % y el 40 % de la población mundial habita en regiones donde las temperaturas ya han superado los 1,5°C en al menos una estación del año. Este desbalance geográfico en el calentamiento subraya las profundas implicaciones regionales del cambio climático, lo que agrava la vulnerabilidad de las poblaciones que dependen de ecosistemas terrestres más sensibles al calentamiento rápido (IPCC, 2018).

A pesar de las tendencias observadas, el IPCC señala que las emisiones pasadas por sí solas no son suficientes para aumentar la temperatura media global a 1,5°C por encima de los niveles preindustriales. Sin embargo, estas emisiones pasadas ya comprometen otros cambios irreversibles, como el aumento continuo del nivel del mar. Si las emisiones antropogénicas cesaran de forma inmediata, el calentamiento adicional más allá del 1°C actual probablemente no excedería los 0,5°C en las próximas dos a tres décadas. Este hallazgo sugiere que, desde una perspectiva

geofísica, el aumento de la temperatura global más allá de 1,5°C no es inevitable; sin embargo, su evitación depende de la capacidad de la humanidad para reducir significativamente las emisiones en los próximos años (IPCC, 2018).

El estudio de las trayectorias de emisiones para limitar el calentamiento a 1,5°C revela que se requieren reducciones drásticas y acumulativas en las emisiones de gases de efecto invernadero, particularmente de dióxido de carbono (CO_2), el principal impulsor del cambio climático. Cualquier escenario que logre estabilizar el calentamiento en 1,5°C debe considerar la limitación de las emisiones acumulativas de gases de larga duración o, en su defecto, la implementación de tecnologías que permitan la captura y almacenamiento de carbono para revertir el exceso de emisiones (IPCC, 2018). La diferencia en los impactos proyectados entre los escenarios que logran mantener las emisiones bajo control y aquellos que permiten un sobrepaso temporal de los 1,5°C es sustancial. Las trayectorias de emisiones que superan brevemente ese umbral antes de regresar a niveles seguros conllevan riesgos más altos, especialmente para los ecosistemas y comunidades más vulnerables (IPCC, 2018).

El cambio climático plantea, además, serias implicaciones éticas, dado que sus efectos más devastadores recaen de manera desproporcionada sobre los países en desarrollo y las poblaciones más pobres. El principio de equidad es fundamental en el análisis de los impactos del cambio climático y las acciones de mitigación. El Acuerdo de París hace hincapié en la importancia de equilibrar los objetivos de desarrollo sostenible con los esfuerzos por limitar el aumento de la temperatura global, reconociendo que las respuestas al cambio climático deben estar orientadas hacia la erradicación de la pobreza y la reducción de las desigualdades sociales (IPCC, 2018).

Finalmente, aunque las acciones de mitigación son esenciales, el IPCC destaca la importancia de la adaptación como mecanismo complementario para gestionar los impactos del cambio climático. Las barreras a la implementación de medidas de adaptación, como la falta de financiamiento, tecnología y datos locales precisos deben abordarse para asegurar que las estrategias de mitigación no sólo se alineen con los objetivos de reducción de emisiones, sino que también promuevan el desarrollo sostenible a largo plazo (IPCC, 2018).

Dado este contexto, la presente investigación busca abordar la urgente necesidad de identificar las políticas más efectivas para mitigar los efectos del cambio climático, centrándose en la identificación de trayectorias de emisiones que permitan limitar el calentamiento a 1,5°C y analizando el impacto de dichas políticas en las regiones más vulnerables y los sectores más afectados por los cambios en la estructura climática global.

Como se muestra en la Figura 1, correspondientes a un estudio de Statista (Comisión Europea, Cálculo de Statista), (6) Estados Unidos en 2021 representó el 12,6 % de las emisiones mundiales de CO_2. Este estudio muestra a los 10 países con más emisiones de CO_2. Por las características de estos países indican que las principales fuentes de emisiones de CO_2 del planeta se concentran en los países con mayor desarrollo industrial y especialmente en los que están en vías de desarrollo como China y la India, los cuales requieren de suministro de energía proveniente de combustibles fósiles para lograr el aumento de su economía.

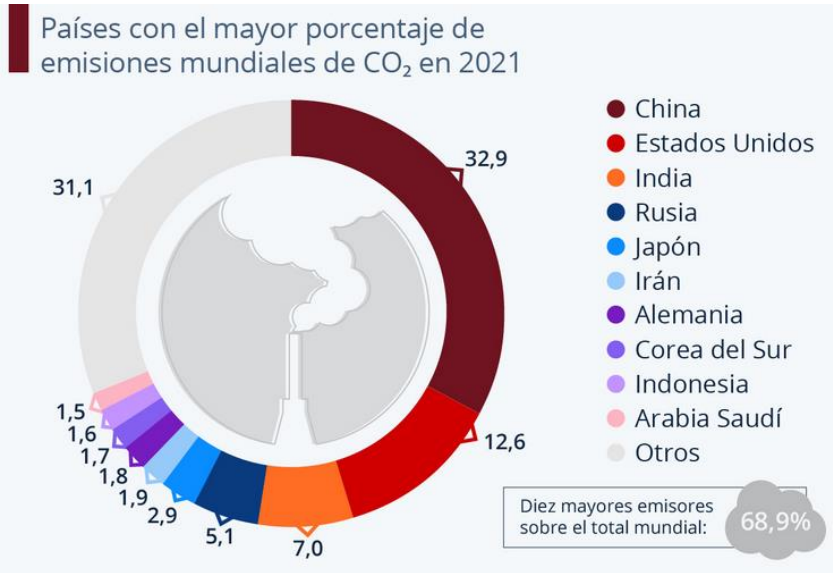

Figura 1. Países con mayores emisiones de CO_2 del mundo en 2021. Fuente: Comisión Europea, Cálculos de Statista

Las emisiones antropógenas de GEI están principalmente influenciadas por la actividad de las personas, la actividad económica, el estilo de vida, el uso de la energía, los patrones de uso del suelo, la tecnología y las políticas climáticas. Dentro

de esos gases, las emisiones totales de CO_2 son la principal causa del calentamiento global a largo plazo. De hecho, el aumento de la temperatura y las emisiones acumuladas de CO_2 están estrechamente relacionadas de manera lineal. Por lo tanto, si se establece un objetivo de limitar el calentamiento global de mantener el aumento de la temperatura por debajo de 2°C, requerirá de reducciones significativas en emisiones posteriores.

El sexto informe del IPCC del año 2022 establece que la larga permanencia en la atmósfera del CO_2 ya emitido (más del 20 % permanecerá más de 1 000 años una vez que las emisiones hayan cesado). Dicho informe indica claramente que el desarrollo resiliente al clima ya representa un desafío con los niveles actuales de calentamiento. Dicho desarrollo será más limitado si el calentamiento global supera los 1,5°C (2,7 °F). En algunas regiones, este desarrollo será imposible si el calentamiento global aumenta más de 2 °C (3,6 °F). Esta conclusión clave pone de relieve la urgencia de aplicar la acción climática, con especial énfasis en la igualdad y la justicia. La financiación adecuada, la transferencia de tecnologías, el compromiso político y las asociaciones incrementan la eficacia de la adaptación al cambio climático y la reducción de las emisiones.

A fin de evitar una mayor pérdida de vidas, biodiversidad e infraestructura, es preciso tomar urgentemente medidas ambiciosas de adaptación al cambio climático y, a la vez, lograr reducciones rápidas y pronunciadas de las emisiones de gases de efecto invernadero. Los avances en materia de adaptación son dispares, y las brechas entre las medidas adoptadas y lo que se necesita para hacer frente a los riesgos crecientes son cada vez más profundas. (IPCC, 2022).

1.2. Cambio climático y calentamiento global

A lo largo de la historia geológica de la Tierra, han ocurrido cambios climáticos significativos que han influido en su entorno y en la evolución de los ecosistemas. Si bien estos cambios han sido parte del proceso natural del sistema terrestre, en las últimas décadas se ha observado que los efectos del cambio climático se han intensificado de manera considerable en comparación con los que ocurrieron durante

las épocas preindustriales (IPCC, 2021). Las actividades antropogénicas, especialmente aquellas relacionadas con la quema de combustibles fósiles y la deforestación, han jugado un papel central en el aumento de la temperatura global, principalmente a través de las emisiones de gases de efecto invernadero, siendo el dióxido de carbono (CO_2) uno de los mayores contribuyentes al calentamiento global (NASA, 2023).

Numerosos estudios científicos han demostrado que la acumulación de gases de efecto invernadero en la atmósfera está directamente relacionada con el aumento de las temperaturas globales, lo que a su vez desencadena una serie de cambios climáticos y meteorológicos adversos. Entre estos efectos se encuentran el incremento de la frecuencia e intensidad de eventos meteorológicos extremos, como inundaciones repentinas, sequías prolongadas, el aumento del nivel del mar, variaciones en los patrones de precipitación y alteraciones en los ciclos estacionales (IPCC, 2023). De estos gases, el CO_2 es el principal responsable, contribuyendo notablemente al calentamiento del planeta y a la aceleración de los impactos climáticos observados en la actualidad.

1.3. Cambio climático. Definición

En 1992, se llevó a cabo en Río de Janeiro la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo, evento que reunió a 176 Estados y más de 400 Organizaciones No Gubernamentales (ONG). La labor de esta conferencia se fundamentó en el "Informe Brundtland", un documento publicado en 1987 por la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (CMMAD), titulado "Nuestro futuro común". Durante la conferencia, se alcanzaron acuerdos trascendentales, como la adopción de la Agenda XXI, la Declaración de Río sobre Medio Ambiente y Desarrollo, la Declaración de Principios relativos a los Bosques, el Convenio sobre la Diversidad Biológica y la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC).

En esta última, las Partes participantes manifestaron una preocupación compartida a nivel global, afirmando que "los cambios del clima de la Tierra y sus efectos adversos son una preocupación común de toda la humanidad". En el Artículo 1 de la

Convención, se proporciona una definición clave: "Por Cambio Climático se entiende un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables". Asimismo, el Artículo 2 establece que "El objetivo último de la presente Convención y de todo instrumento jurídico conexo que adopte la Conferencia de las Partes es lograr, de conformidad con las disposiciones pertinentes de la Convención, la estabilización de las concentraciones de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera a un nivel que impida interferencias antropogénicas peligrosas en el sistema climático" (ONU, Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, 1992).

La Figura 2 ilustra la evolución histórica de las emisiones de CO_2 a nivel mundial, evidenciando una tendencia ascendente continua a lo largo del tiempo. Según estimaciones, en el año 2018 las emisiones de gases de efecto invernadero alcanzaron un total de 55,3 Gt CO_2-eq, consolidando así un incremento significativo en comparación con años anteriores (PNUMA, 2019).

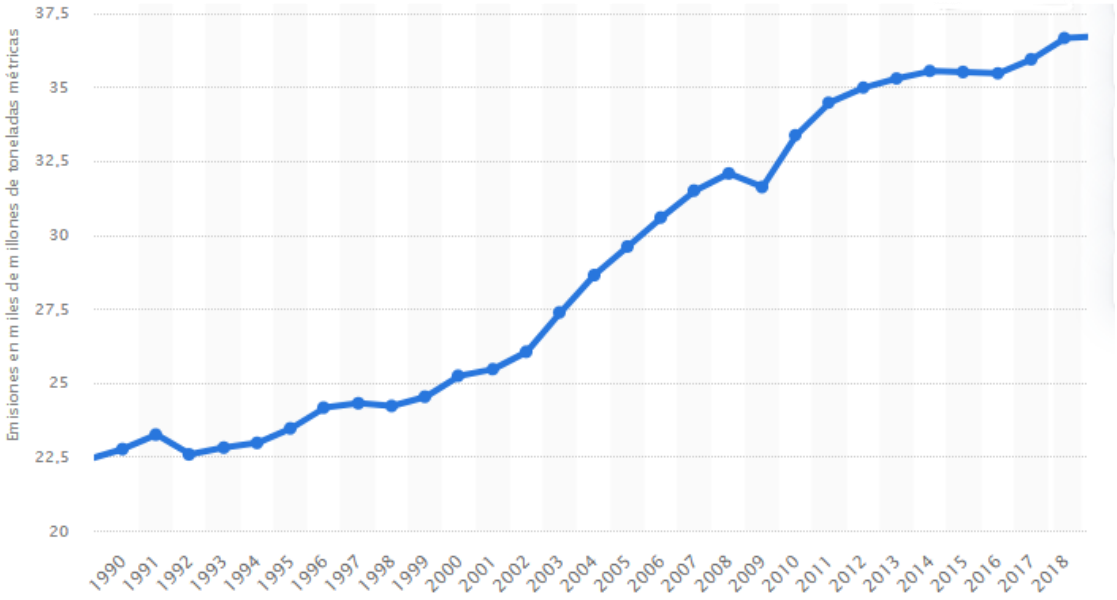

Figura 2. Evolución histórica de las emisiones de CO_2 a nivel mundial. Fuente: Statista

1.4. Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático

Los informes elaborados por el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC) destacan de manera consistente el incremento de las emisiones de GEI a nivel global, a pesar de la implementación de políticas de mitigación. El Quinto Informe de Evaluación del IPCC (2014) reportó que las emisiones de GEI crecieron a un ritmo promedio anual de una gigatonelada de dióxido de carbono equivalente ($GtCO_2eq$) durante el período 2000-2010, lo que representa un aumento anual del 2,2 %. Este ritmo de incremento fue considerablemente mayor en comparación con el período 1970-2000, cuando las emisiones crecieron a un promedio de 0,4 $GtCO_2eq$ por año, equivalente a un aumento del 1,3 % anual.

El período 2000-2010 marcó un récord en las emisiones de GEI, alcanzando su punto máximo en 2010, con 49 (±4,5) $GtCO_2eq$/año, lo cual constituye la cifra más alta registrada en la historia de la humanidad. Durante este período, el CO_2 procedente de la quema de combustibles fósiles y de los procesos industriales fue responsable de aproximadamente el 78 % del incremento de las emisiones de GEI. En el año 2010, la distribución de las emisiones de GEI fue la siguiente: el 76 % provinieron del CO_2, el 16 % del metano (CH_4), el 6 % del óxido nitroso (N_2O) y el 2 % de los gases fluorados (IPCC, 2014).

A nivel global, tanto el crecimiento poblacional como el desarrollo económico han contribuido de manera directa al aumento de las emisiones de CO_2, especialmente derivadas del uso de combustibles fósiles. Entre 2000 y 2010, el crecimiento poblacional mantuvo un ritmo similar al de las tres décadas anteriores, mientras que el desarrollo económico experimentó un aumento significativo. Las emisiones de GEI están estrechamente relacionadas con factores como el tamaño de la población, la actividad económica, los estilos de vida, el uso de la energía, los patrones de uso de la tierra, la tecnología y las políticas climáticas (IPCC, 2021).

1.5. Protocolo de Kioto y Acuerdo de París

El Protocolo de Kioto, adoptado durante la III Conferencia de las Partes (COP3) en 1997, antecede a la Cumbre de Copenhague, constituye un acuerdo fundamental en la lucha contra el cambio climático. Este protocolo tenía como objetivo principal la

reducción de las emisiones de los seis gases de efecto invernadero más relevantes. Según lo establecido en su Artículo 3, se fijó como meta reducir el total de las emisiones en al menos un 5 % con respecto a los niveles de 1990, durante el período comprendido entre 2008 y 2012. Para alcanzar este objetivo, las Partes se comprometieron a reportar las emisiones de gases de efecto invernadero a partir de 1990 en adelante.

El Artículo 5 del Protocolo estipula que "las metodologías para calcular las emisiones antropogénicas provenientes de las fuentes, así como la absorción por parte de los sumideros de todos los gases de efecto invernadero no regulados por el Protocolo de Montreal, serán las aprobadas por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático y acordadas por la Conferencia de las Partes" (COP3, 1997).

El Protocolo fue firmado el 11 de diciembre de 1997 en Kioto, Japón, y entró en vigor el 16 de febrero de 2005. Para noviembre de 2009, 187 Estados habían ratificado el acuerdo. Su relevancia radica en su carácter jurídicamente vinculante, algo que la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) no había logrado previamente. No obstante, el Protocolo enfrentó dos desafíos significativos: Estados Unidos, el mayor emisor de gases de efecto invernadero en el momento de la firma (posición que China ocupa desde 2005), nunca ratificó el acuerdo y se retiró en 2001, durante la presidencia de George W. Bush. Además, Canadá abandonó el Protocolo en 2011.

El Protocolo de Kioto se destacó por establecer fundamentos más sólidos en la lucha contra el cambio climático. A diferencia de acuerdos previos que proponían objetivos generales, el Protocolo de Kioto fijó porcentajes específicos de reducción de emisiones y plazos concretos. Además, no solo se mencionan los GEI de manera general, sino que se identifican, clasifican y enumeran en un anexo específico, lo que facilita su seguimiento y control.

Posteriormente, el Acuerdo de París representó un nuevo avance significativo en los acuerdos internacionales sobre el calentamiento global. Aprobado durante la COP21, este acuerdo plantea objetivos más ambiciosos, impulsados por predicciones alarmantes. En su documento, la Conferencia de las Partes expresó su preocupación al señalar que los niveles estimados de emisiones agregadas de gases de efecto invernadero para 2025 y 2030, resultantes de las contribuciones previstas a nivel

nacional, no se alinean con los escenarios de menor costo para limitar el aumento de temperatura a 2°C, sino que proyectan un nivel de 55 gigatoneladas en 2030 (COP21, 2015).

El Acuerdo de París establece objetivos de mitigación y adaptación diferenciados para cada país, basándose en las contribuciones determinadas a nivel nacional (NDC, por sus siglas en inglés). Según lo dispuesto en el Artículo 4, "cada Parte deberá preparar, comunicar y mantener las sucesivas contribuciones determinadas a nivel nacional que tenga previsto efectuar", y se establece que "la contribución determinada a nivel nacional sucesiva de cada Parte representará un avance con respecto a la contribución vigente para esa Parte y reflejará la mayor ambición posible" (COP21, 2015).

La participación de Estados Unidos en el Protocolo de Kioto y el Acuerdo de París refleja su posición fluctuante en los esfuerzos internacionales por combatir el cambio climático.

En el caso del Protocolo de Kioto, adoptado en 1997, Estados Unidos firmó el acuerdo bajo la administración de Bill Clinton, pero no lo ratificó debido a la falta de apoyo en el Senado, que había expresado su preocupación por la falta de compromisos de reducción de emisiones por parte de los países en desarrollo. Esta resistencia fue confirmada por George W. Bush, quien decidió retirar a Estados Unidos del Protocolo en 2001, argumentando que la implementación de dicho acuerdo afectaría negativamente la economía estadounidense y que era injusto no exigir compromisos similares a las economías emergentes como China e India. Como resultado, aunque el Protocolo de Kioto entró en vigor en 2005, Estados Unidos, el mayor emisor de gases de efecto invernadero en ese momento, no fue parte del acuerdo (Center for Climate and Energy Solutions; History).

En contraste, el Acuerdo de París de 2015 representó un giro en la política climática estadounidense. Este acuerdo, diseñado para suceder al Protocolo de Kioto, fue ratificado por Estados Unidos bajo la administración de Barack Obama, quien utilizó una acción ejecutiva para evitar el proceso de ratificación en el Senado. Sin embargo, la participación de Estados Unidos en el Acuerdo de París también fue breve. En 2017, el presidente Donald Trump anunció la retirada del país del acuerdo, citando nuevamente preocupaciones económicas y la creencia de que el acuerdo no era

favorable para los intereses estadounidenses. No obstante, esta decisión fue revertida por el presidente Joe Biden, quien reincorporó a Estados Unidos al Acuerdo de París en 2021, reafirmando el compromiso del país con los objetivos internacionales de mitigación del cambio climático (Council on Foreign Relations).

Estas decisiones reflejan las tensiones internas en Estados Unidos respecto a su rol en los acuerdos climáticos internacionales, influenciadas por consideraciones económicas y políticas, y por la visión cambiante de sus líderes sobre el cambio climático.

1.6. Año 2030

La Agenda 2030 aprobó el Acuerdo de París, expresando su satisfacción por la adopción de la resolución A/RES/70/1 de la Asamblea General de las Naciones Unidas, titulada "Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible", destacando particularmente el Objetivo 13, que se enfoca en la acción climática. En esta Agenda se establecieron los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), que retoman y amplían los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM) definidos en el año 2000, cuyo cumplimiento se había fijado para el año 2015. "Los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible y las 169 metas que presentamos hoy reflejan la magnitud de esta nueva y ambiciosa Agenda universal. Con ellos, buscamos continuar el trabajo iniciado por los Objetivos de Desarrollo del Milenio y alcanzar lo que estos no lograron" (ONU, 2015).

Los ODS buscan integrar las tres dimensiones del desarrollo sostenible: la económica, la social y la ambiental. "En nombre de las personas a las que servimos, hemos tomado una decisión histórica al adoptar un conjunto amplio de Objetivos y metas universales y transformadoras, centradas en las personas y de gran alcance. Nos comprometemos a trabajar incansablemente para lograr la plena implementación de esta Agenda para el año 2030" (ONU, 2015). La Agenda 2030 se fundamenta en años de trabajo, conferencias y cumbres, entre las que destacan la Carta de las Naciones Unidas (1945), la Declaración Universal de Derechos Humanos (1948), la Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (1992), la Cumbre Mundial sobre el

Desarrollo Sostenible (Johannesburgo, 2002) y la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo Sostenible (Río+20, 2012).

En 2015, con más de dos décadas desde la creación de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) y la adopción de la Agenda 2030, la Asamblea General reafirmó: "Reconocemos que la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático es el principal foro intergubernamental internacional para negociar la respuesta global al cambio climático. (...) Con vistas a la 21ª sesión de la Conferencia de las Partes, que se celebrará en París, subrayamos que todos los Estados se comprometen a trabajar hacia un acuerdo climático ambicioso y universal" (ONU, 2015).

La COP21, celebrada en París, fue el escenario donde nació el Acuerdo de París, un hito en la lucha global contra el cambio climático.

1.7. ¿Cuál es la relevancia de examinar la Matriz Energética?

Uno de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) establecidos en la Agenda 2030 de la ONU es "Garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna para todos". Este objetivo, identificado como el ODS 7 bajo el título "Energía asequible y no contaminante", subraya la importancia de asegurar que todas las personas tengan acceso a la energía para lograr un desarrollo sostenible. Además, esta energía debe provenir de tecnologías limpias y sostenibles, tanto desde el punto de vista ambiental como económico.

De acuerdo con la ONU, aproximadamente el 13 % de la población mundial aún no tiene acceso a servicios eléctricos modernos, y alrededor de 3 000 millones de personas dependen de recursos como la madera, el carbón y desechos de origen animal para cocinar y calentar sus alimentos. Se estima que la producción y uso de energía contribuyen a cerca del 60 % de las emisiones globales de gases de efecto invernadero, lo que convierte al sector energético en un factor crucial en la lucha contra el cambio climático.

Pero ¿qué entendemos por Matriz Energética? Este término se refiere al porcentaje de cada tipo de energía que se emplea en la generación total de energía de un país o

una región, la cual puede desglosarse según sectores económicos o áreas geográficas.

1.8. Estados Unidos

Los Estados Unidos de América (EE. UU.) es una república federal democrática compuesta por 50 estados, un Distrito Federal y varios territorios no incorporados o asociados, ubicada geográficamente en América del Norte. Los orígenes de Estados Unidos se remontan al periodo de la Guerra de Independencia, que tuvo lugar entre 1775 y 1781.

En 2022, la población de Estados Unidos alcanzó los 333 millones de habitantes (Banco Mundial, 2022). La tasa de crecimiento poblacional ha mostrado una tendencia a la baja desde 2002. Durante el período de 1990 a 2022, la población experimentó un incremento de aproximadamente el 17 %.

En cuanto a la economía, el Producto Interno Bruto (PIB) de Estados Unidos en 2022 fue de 25,46 billones de dólares (Banco Mundial, 2022). Entre 1990 y 2008, el país mantuvo un crecimiento económico sostenido, con un aumento del PIB de aproximadamente el 65,7 %. Sin embargo, en 2009, se registró una ligera contracción del PIB del 2 % en comparación con 2008. A partir de 2010 y hasta 2019, el PIB volvió a crecer de manera constante, con un incremento de aproximadamente el 48 %. En 2020, hubo una nueva disminución del PIB del 1,5 %, seguida de un crecimiento continuo a partir de 2021. La estructura económica de Estados Unidos en 2022 se dividió en un 1,2 % correspondiente al sector primario, un 19,2 % al sector secundario y un 79,6 % al sector terciario o de servicios (Statista, 2022).

La demanda energética de Estados Unidos se cubre principalmente con combustibles fósiles. En 2022, estos combustibles representaron aproximadamente el 77 % de la matriz energética, lo que supone una reducción del 14 % en comparación con 2002. En contraste, las energías renovables alcanzaron una participación del 23 %, con un crecimiento de aproximadamente el 248 % en el mismo período.

1.9. Propósito de la Investigación

La finalidad de este trabajo consiste en desarrollar un modelo matemático que relaciona las emisiones de CO_2 con el tamaño de la población, el PIB per-cápita, la intensidad energética y el mix energético para Estados Unidos desde 2002 hasta

2022, aplicando la metodología de Fernández González (2014), basada en la descomposición logarítmica (LMDI) introducida por Ang & Choi (1997).

En este trabajo se ha aplicado la descomposición en forma estática (en un período determinado, 1990-2018) y también en forma dinámica (en series temporales, tomando como referencia el año 1990) para Estados Unidos.

Este estudio permite hacer un análisis de la evolución de las emisiones de CO_2 en Estados Unidos y saber cuáles son los factores que más han influido para su aumento o disminución a lo largo del período de tiempo antes mencionado. Además, permite estudiar las diferencias interregionales entre los estados miembros y con ello establecer acciones para controlar una de las emisiones de gases más contaminantes del planeta.

1.10. Estado del problema y revisión bibliográfica.

En la actualidad, el desarrollo sostenible ha adquirido una relevancia significativa y se ha convertido en un tema de estudio crucial en numerosos países, independientemente de su situación económica. La literatura académica presenta una amplia gama de investigaciones que examinan la interrelación entre el desarrollo económico, el consumo de energía y las emisiones de CO_2. Varias de estas investigaciones se centran en analizar la relación entre el Producto Interno Bruto (PIB) y el consumo de energía, así como entre el PIB, el consumo energético y las emisiones de CO_2.

Para una comprensión profunda de los cambios experimentados en los indicadores económicos, medioambientales, socioeconómicos y energéticos a lo largo de la historia, es fundamental identificar los factores que han impulsado dichos cambios. En la literatura especializada, se han desarrollado cuatro tipos principales de técnicas de descomposición: el análisis econométrico, el análisis con datos agregados, el análisis basado en índices (Index Decomposition Analysis, IDA) y el análisis estructural (Structural Decomposition Analysis, SDA).

Dentro de estas técnicas, el análisis econométrico presenta la limitación de enfocarse principalmente en la estimación de los efectos de primer nivel mediante el uso de variables explicativas de segundo nivel. En contraste, el análisis con datos agregados resulta ser más sencillo al considerar variables globales sin introducir información

detallada. Por otro lado, el análisis basado en índices y el análisis estructural permiten el uso de datos desagregados por sectores, lo cual proporciona un mayor nivel de detalle y precisión.

Este estudio opta por emplear descomposiciones basadas en el análisis IDA debido a sus ventajas inherentes en estudios medioambientales y energéticos. La metodología IDA, que puede ser aplicada de manera multiplicativa o aditiva, es adecuada para cualquier tipo de agregado y requiere menos información inicial en estudios que abarcan múltiples países. Además, para cuantificar los cambios en los factores que afectan la variable desagregada en cuestión (CO_2), se emplea la metodología Logarithmic Mean Divisia Index Method (LMDI). Esta metodología es valorada por su sólido fundamento teórico, su adaptabilidad, su facilidad de uso y su capacidad para proporcionar una interpretación clara de los resultados (Ang, 2004).

La Tabla I presenta de manera abreviada algunos estudios realizados por diversos investigadores en distintas regiones del mundo, utilizando diferentes metodologías de descomposición a lo largo de diversos períodos de tiempo.

Tabla I. Resumen de estudios que analiza la relación CO_2-Energía-PIB

Autor	Región	Período de tiempo	Metodología	Principal resultado
Ang (2005)	Canadá	1990-2000	LMDI	Consumo de energía y emisiones de CO_2 y sus factores de impacto
Lise (2006)	Turquía	1980-2003	RLM	Relación entre emisiones de CO_2 y crecimiento económico
Padilla & Serrano (2006)	Grupo de países	1971-1999	Estimaciones No paramétricas	Desigualdad del PIB relacionado con la desigualdad del CO_2
Liu *et al.* (2007)	China	1998-2005	LMDI	Emisiones de carbono altamente afectada por la actividad industrial y la intensidad energética

Hatzigeorgiu *et al.* (2008)	Grecia	1990-2002	AMDI y LMDI	Emisiones de CO_2 en un Período de tiempo y en serie de tiempo
Choi &Ang (2012)	EE. UU	1986-2004	LMDI	Se obtiene dos nuevos indicadores: el índice de cambio estructural y el índice de intensidad real de energía
Chen *et al.* (2013)	China	1985-2007	LMDI	Emisiones acumulativas de CO_2 y su relación con el PIB
Robalino-López *et al.* (2014)	Ecuador	1980-2025	Modelado de dinámica de sistemas y análisis de escenario	Fuerte conexión entre PIB y CO_2
Fernández-González *et al.* (2014)	Unión Europea	2001-2010	LMDI	Mix de energía y su relación con los niveles de CO_2
Xu *et al.* (2014)	China	1995-2011	LMDI	Emisiones de CO2influenciado por el factor económico y de población
Cansino *et al.* (2015)	España	1995-2009	LMDI	Energía renovable y su influencia en el detrimento de las emisiones de CO_2
Colinet & Román (2016)	Andalucía-España	2003-2012	LMDI	Consumo de energía final relacionado con efectos de actividad, estructura e intensidad

Ang (2005) proporcionó una guía práctica detallada para la aplicación de la metodología Logarithmic Mean Divisia Index (LMDI), ilustrando su uso mediante un estudio de caso basado en datos de la industria canadiense correspondientes al período de 1990 a 2000. En este análisis, se descompusieron y cuantificaron los factores que afectan el consumo de energía y las emisiones de CO_2, utilizando tanto

enfoques multiplicativos como aditivos. Los resultados del estudio mostraron una descomposición perfecta en ambos enfoques, dado que no se observó un término residual.

Lise (2006) llevó a cabo un estudio centrado en la descomposición de las emisiones de CO_2 en Turquía durante el período de 1980 a 2003, aplicando la metodología Refined Laspeyres Method (RLM). Los hallazgos de este estudio destacaron una fuerte correlación entre las emisiones de CO_2 y el desarrollo económico del país.

Padilla y Serrano (2006) investigaron la relación entre la desigualdad en las emisiones de CO_2 y la desigualdad en los ingresos en un grupo de países durante el período de 1971 a 1999. Sus conclusiones indicaron que, en la mayoría de los países analizados, un incremento en los ingresos per cápita estaba asociado con un aumento en las emisiones de CO_2.

Liu *et al*. (2007) realizaron un análisis de series temporales utilizando la metodología LMDI para estudiar los cambios en las emisiones de carbono industrial en China entre 1998 y 2005. Los resultados de este análisis destacaron que la principal contribución a los cambios observados provenía del sector industrial y su actividad, así como de la intensidad energética.

Hatzigeorgiou *et al*. (2008) se centraron en la descomposición de las emisiones de CO_2 relacionadas con la energía en Grecia desde 1990 hasta 2002, aplicando las metodologías Arithmetic Mean Divisia Index (AMDI) y Logarithmic Mean Divisia Index (LMDI). Sus hallazgos indicaron que el factor de ingresos tuvo el mayor impacto en el aumento de las emisiones de CO_2, mientras que la intensidad energética mostró un efecto moderador.

Choi y Ang (2012) ampliaron la metodología Divisia en estudios energéticos al introducir dos nuevos indicadores: el índice de cambio estructural y el índice de intensidad real de energía.

Chen *et al*. (2013) realizaron un análisis de descomposición anual de las emisiones industriales relacionadas con la energía en China desde 1985 hasta 2007 utilizando el enfoque LMDI. Los resultados subrayaron que el PIB per cápita fue el factor más significativo en el crecimiento de las emisiones industriales de CO_2.

Robalino-López *et al*. (2014) presentaron un enfoque de modelización para las emisiones de CO_2 en Ecuador hasta el año 2020 y analizaron la hipótesis de la Curva de Kuznets Ambiental. Concluyeron que es posible controlar las emisiones de CO_2 mediante el uso de energías renovables y tecnologías de combustibles fósiles más eficientes.

Fernández-González *et al.* (2014) examinaron los cambios en las emisiones de CO_2 en la Unión Europea y sus Estados miembros para el período de 2001 a 2010, destacando el impacto del factor de mezcla de energía en las emisiones agregadas de CO_2.

Xu *et al.* (2014) identificaron los factores clave que influyen en las emisiones de CO_2 derivadas del consumo de energía fósil en China mediante un análisis anual basado en la metodología LMDI, resaltando la importancia de los efectos económicos y poblacionales.

Cansino *et al.* (2015) evaluaron la contribución de diversos factores a las emisiones de CO_2 en España durante el período de 1995 a 2009. Encontraron que el incremento en el uso de fuentes de energía renovable y la tendencia a la disminución en el uso de combustibles fósiles presentan un escenario prometedor para la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero.

Colinet y Román (2016) analizaron los cambios en el consumo de energía final en Andalucía durante el período de 2003 a 2012 utilizando la metodología LMDI. Observaron una reducción en el consumo de energía final y destacaron el efecto estructural y la intensidad como factores clave en este contexto.

Objetivos

General

- Aplicar la metodología Logarithmic Mean Divisia Index (LMDI) al modelo propuesto por Fernández-González *et al.* (2014) mediante un análisis de descomposición única en el período entre 1990 y 2018 para Estados Unidos
- Aplicar la metodología LMDI al modelo propuesto por Fernández-González et al. (2014) mediante un análisis año por año en el período entre 1990 y 2018 en Estados Unidos tomando como referencia el año 1990
- Analizar los factores que influyen en el proceso de emisión de CO_2 tales como: población, PIB per-cápita, intensidad energética, el mix de energía utilizada y la estructura.

Para ello será necesario alcanzar los siguientes objetivos específicos:

Específicos

- Obtener datos estadísticos de las principales variables ambientales y socioeconómicas de Estados Unidos.
- Aplicar la metodología LMDI a Estados Unidos.
- Analizar y discutir los resultados obtenidos respecto a las emisiones de CO_2, la relación entre emisiones de CO_2, consumo de energía y desarrollo económico para Estados Unidos y sus estados miembros.

CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Materiales

Los datos seleccionados para la realización de este trabajo aplicando la metodología LMDI para el análisis de las variaciones de emisiones de CO_2 en el período 2002-2022, fueron recopilados de las siguientes fuentes:

- Banco Mundial, otorga datos sobre la población y el Producto Interno Bruto (PIB) de Estados Unidos.
- Statista, proporciona datos sobre consumo de energía por país y el desglose de consumo de energía por tipo de combustible y país (miles de toneladas equivalentes de petróleo).
- IPCC, proporciona datos de los factores de emisión de combustibles fósiles (kg/Tj)

2.2. Métodos

A finales de la década de 1970, los investigadores en el campo de la energía introdujeron y adoptaron lo que hoy se conoce como el análisis de descomposición de índices. Este enfoque se utiliza para examinar los impactos del cambio estructural (variaciones en la mezcla de productos dentro de la industria) y los cambios en la intensidad energética sectorial (variaciones en las intensidades energéticas de los sectores industriales) sobre las tendencias en el uso de la energía en la industria. En las últimas décadas, la aplicación de esta metodología ha experimentado un incremento notable. Según estudios reportados, el análisis de descomposición de índices se ha consolidado como una herramienta analítica ampliamente aceptada para la formulación de políticas en materia energética y ambiental en diversas naciones (Ang, 2004).

Un análisis de descomposición de índices comienza con la definición de una función de gobierno que relaciona el agregado que será descompuesto con un conjunto de factores de interés predefinidos. Una vez definida la función de gobierno, se pueden emplear distintos métodos de descomposición para determinar de manera cuantitativa los impactos de las variaciones en estos factores sobre el agregado (Ang, 2004).

Entre las metodologías de descomposición por índices, destacan el Logarithmic Mean Divisia Index (LMDI) y el Arithmetic Mean Divisia Index (AMDI). En el contexto de la descomposición, Ang *et al*. (1998), Ang & Liu (2001) y Ang (2004) demostraron la superioridad del método LMDI. Las principales ventajas del LMDI incluyen:

- La ausencia de componente residual, permitiendo una descomposición exacta.
- El cumplimiento de las propiedades de reversión de factores.
- La existencia de una relación sencilla entre las descomposiciones aditivas y multiplicativas.
- La capacidad para manejar ceros en el conjunto de datos.
- La consistencia en la agregación.

Generalmente, la aplicación de esta metodología se realiza para un período de tiempo específico. En el presente trabajo, se innovó al utilizar una serie temporal. A diferencia de un análisis de período de tiempo, que compara atributos entre el primer y el último año del período seleccionado sin considerar los detalles intermedios, el análisis de series temporales utiliza datos continuos a lo largo del tiempo. Este enfoque permite observar cómo los impactos de los factores explicativos han evolucionado a lo largo del tiempo (Hatzigeorgiou *et al.,* 2008). Mientras que el análisis de período de tiempo requiere menos esfuerzo en la recopilación de datos, ya que solo se necesitan datos para dos años (Ang, 1995), el análisis de series temporales proporciona una visión más detallada de las tendencias y cambios a lo largo del tiempo.

2.2.1. Formulación del modelo

La metodología escogida para analizar la relación entre las emisiones de CO_2, consumo de energía y desarrollo económico fue propuesta por Fernández-Paula (2012), y se basa en la descomposición en cinco factores determinantes que nos permite medir los siguientes efectos: población (pop), renta per-cápita (rpc), intensidad energética delsector (int), mezclas de combustibles (mix), estructura (str) y emisiones de CO_2 (emi).

La Identidad Kaya es una fórmula matemática que facilita el análisis de los factores determinantes en las emisiones de CO2 de un país, región o contexto específico. El

primer término de la ecuación representa el total de emisiones de CO2 del objeto de estudio. El segundo término proviene de una desagregación de las variables que contribuyen a dichas emisiones (Kaya & Yokobori, 1993).

$$CO_2 = P * \frac{PIB}{P} * \frac{E}{PIB} * \frac{CO_2}{E} \qquad (1)$$

Al desarrollar esta expresión, se obtiene una herramienta de análisis más detallada. Por ejemplo, el PIB se descompone como la suma de las contribuciones de cada sector económico, identificados mediante el subíndice "i". De forma similar, la generación de energía se presenta como la suma de los distintos tipos de combustibles empleados, representados con el subíndice "j". Así, una extensión de la Identidad Kaya puede expresarse de la siguiente manera:

$$C = \sum_{ij} P * \frac{Q}{P} * \frac{Q_i}{Q} * \frac{E_i}{Q_i} * \frac{E_{ij}}{E_i} * \frac{C_{ij}}{E_{ij}} \ (2)$$

Donde:
$C = Emisiones\ CO_2\ totales$
$P = Población\ total$
$Q = PIB\ total$
$Qi = PIB\ aportado\ por\ el\ sector\ económico\ i$
$Ei = Consumo\ energético\ total\ del\ sector\ económico\ i$
$Eij = Consumo\ energético\ del\ tipo\ de\ combustible\ j\ del\ sector\ económico\ i$
$Cij = Emisiones\ debido\ al\ consumo\ del\ tipo\ de\ combustible\ j\ en\ sector\ económico\ i$

Sustituyendo los factores de la ecuación, se obtiene:

$$C = P * q \sum_{ij} S_i * Ei_i * M_{ij} * U_{ij} \ (3)$$

Donde:
$C = Emisiones\ CO_2\ totales$
$P = Población\ total$
$q = Q/P = PIB\ per\ cápita$
$Si = Qi/Q = Porcentaje\ del\ PIB\ aportado\ por\ el\ sector\ económico\ i$
$EIi = Ei/Qi = Intensidad\ energética\ del\ sector\ económico\ i$
$Mij = Eij/Ei = Matriz\ energética$

$$Uij = Cij/Eij = Factor\ de\ emisión\ del\ tipo\ de\ combustible\ j\ en\ el\ sector\ económico\ i$$

El análisis se lleva a cabo en un período temporal determinado. Es relevante destacar que la Identidad Kaya se utiliza exclusivamente para identificar las emisiones de CO_2, sin abarcar el conjunto de los gases de efecto invernadero (GEI). Asimismo, solo se consideran las emisiones derivadas del uso de energía, dado que el enfoque del estudio se centra en la quema de combustibles para la generación de energía.

2.2.2. Descomposición aditiva y multiplicativa a través del método LMDI

La metodología en descomposición de factores basadas en índice se puede presentar en dos formas: la descomposición aditiva, en las que los efectos se cuantifican en las unidades de medidas en que viene expresada la magnitud a descomponer, y la descomposición multiplicativa, en las que los efectos son el resultado de la factorización de un índice, siendo por tanto adimensionales.

En nuestro estudio emplearemos tanto la forma aditiva como la multiplicativa, haciendo un análisis para períodos de tiempo sucesivos a partir del año 1990, tomado como año base, hasta el año 2018, para Estados Unidos, teniendo como propósito la identificación y cuantificación de los factores que se relacionan con esta variación.

Acorde con el proceso habitual en la técnica de descomposición LMDI (Ang, 2005), las emisiones de dióxido de carbono desde el año 0 hasta el año T pueden ser expresadas en formas multiplicativa y aditiva como se muestra en las siguientes ecuaciones:

$$\Delta C = C^T - C^o = \Delta C_{cop} + \Delta C_{rpc} + \Delta C_{int} + \Delta C_{mix} + \Delta C_{str} + \Delta C_{emi} \qquad (4)$$

$$D = \frac{C^T}{C^0} = D_{cop} D_{rpc} D_{int} D_{mix*} D_{str} D_{emi} \qquad (5)$$

La ecuación (4) representa la forma aditiva, donde: $\Delta C = C^T - C^0$ se refiere al cambio total en emisiones de carbono, esta puede ser descompuesta en cinco indicadores: ΔC_{pop} denota el impacto asociado al cambio de la población (efecto población), ΔC_{rpc} refleja la influencia del PIB per-cápita (efecto PIB per-cápita), ΔC_{int} representa el impacto de la intensidad energética regional o del país(efecto intensidad), ΔC_{mix} cuantifica la

contribución de la mezcla regional de combustibles (efecto mix de combustibles), ΔC_{str} se refiere a la contribución a las emisiones de CO_2 debido a los cambios en la estructura de los sectores económicos (efecto factor estructura), y ΔC_{emi} representa el impacto de los factores de emisión de CO_2 (efecto factor de emisión).

La ecuación (3) representa la forma multiplicativa, donde: $D = C^T/C^0$ representa la tasa de crecimiento o reducción del total de dióxido de carbono, la cual puede ser descompuesta en cinco factores: D_{pop} (efecto población), D_{rpc} (efecto PIB per-cápita), D_{int} (efecto intensidad), D_{mix} (efecto mix de combustibles), D_{str} (efecto factor estructura) D_{emi} (efecto factor de emisión de CO_2).

La descomposición aditiva de los factores en su forma logarítmica es la siguiente; se tiene en cuenta que el término emisión no influye:

$$\Delta C_{pop}^{T} = \sum_{jr} \frac{C_{jr}^{T} - C_{jr}^{0}}{lnC_{jr}^{T} - lnC_{jr}^{0}} ln \frac{P^{T}}{P^{0}} \quad (6)$$

$$\Delta C_{rpc}^{T} = \sum_{jr} \frac{C_{jr}^{T} - C_{jr}^{0}}{lnC_{jr}^{T} - lnC_{jr}^{0}} ln \frac{q_{j}^{T}}{q_{j}^{0}} \quad (7)$$

$$\Delta C_{int}^{T} = \sum_{jr} \frac{C_{jr}^{T} - C_{jr}^{0}}{lnC_{jr}^{T} - lnC_{jr}^{0}} ln \frac{Ei_{i}{}_{j}^{T}}{Ei_{i}{}_{j}^{0}} \quad (8)$$

$$\Delta C_{mix}^{T} = \sum_{jr} \frac{C_{jr}^{T} - C_{jr}^{0}}{lnC_{jr}^{T} - lnC_{jr}^{0}} ln \frac{M_{jr}^{T}}{M_{jr}^{0}} \quad (9)$$

$$\Delta C_{str}^{T} = \sum_{jr} \frac{C_{jr}^{T} - C_{jr}^{0}}{lnC_{jr}^{T} - lnC_{jr}^{0}} ln \frac{S_{jr}^{T}}{S_{jr}^{0}} \quad (10)$$

$$\Delta C_{emi}^{T} = \sum_{jr} \frac{C_{jr}^{T} - C_{jr}^{0}}{lnC_{jr}^{T} - lnC_{jr}^{0}} ln \frac{U_{jr}^{T}}{U_{jr}^{0}} \quad (11)$$

La descomposición multiplicativa de los factores en su forma multiplicativa es la siguiente; se tiene en cuenta que el término emisión no influye:

$$D_{pop} = \exp\left(\sum_{jr} \frac{(C_{jr}^T - C_{jr}^0)/(lnC_{jr}^T - lnC_{jr}^0)}{(C^T - C^0)/(lnC^T - lnC^0)} ln\frac{P_j^T}{P_j^0}\right) \quad (9)$$

$$D_{rpc} = \exp\left(\sum_{jr} \frac{(C_{jr}^T - C_{jr}^0)/(lnC_{jr}^T - lnC_{jr}^0)}{(C^T - C^0)/(lnC^T - lnC^0)} ln\frac{q_j^T}{q_j^0}\right) \quad (10)$$

$$D_{int} = \exp\left(\sum_{jr} \frac{(C_{jr}^T - C_{jr}^0)/(lnC_{jr}^T - lnC_{jr}^0)}{(C^T - C^0)/(lnC^T - lnC^0)} ln\frac{Ei_{i_j}^T}{Ei_{i_j}^0}\right) \quad (11)$$

$$D_{mix} = \exp\left(\sum_{jr} \frac{(C_{jr}^T - C_{jr}^0)/(lnC_{jr}^T - lnC_{jr}^0)}{(C^T - C^0)/(lnC^T - lnC^0)} ln\frac{M_j^T}{M_j^0}\right) \quad (12)$$

$$D_{str} = \exp\left(\sum_{jr} \frac{(C_{jr}^T - C_{jr}^0)/(lnC_{jr}^T - lnC_{jr}^0)}{(C^T - C^0)/(lnC^T - lnC^0)} ln\frac{S_j^T}{S_j^0}\right) \quad (13)$$

$$D_{emi} = \exp\left(\sum_{jr} \frac{(C_{jr}^T - C_{jr}^0)/(lnC_{jr}^T - lnC_{jr}^0)}{(C^T - C^0)/(lnC^T - lnC^0)} ln\frac{U_j^T}{U_j^0}\right) \quad (14)$$

La propiedad aditiva del método LMDI (Ang, 2005) garantiza la equivalencia entre las descomposiciones multiplicativa y aditiva, pudiendo ser redundante el uso simultáneo de ambos esquemas, sin embargo, en el análisis realizado para este estudio se ha trabajado con los dos enfoques para obtener resultados más informativos.

CAPÍTULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Durante el desarrollo de la presente tesis, uno de los retos más significativos fue la obtención de resultados coherentes y consistentes a partir de los cálculos realizados en las etapas iniciales del análisis. Tras múltiples iteraciones del proceso de cálculo y verificación de los datos, se evidenció que los resultados obtenidos no seguían un patrón lógico ni congruente con las teorías y estudios previos sobre el tema en cuestión. Este comportamiento anómalo en los resultados sugería la posibilidad de un error en alguna de las fases del procesamiento de datos.

Ante esta situación, se decidió realizar una revisión exhaustiva del proceso de cálculo y de las herramientas utilizadas, a fin de identificar la fuente del error. Sin embargo, debido a la complejidad del modelo empleado, no fue posible corregir completamente las discrepancias observadas. Como medida alternativa y con el objetivo de garantizar la validez científica del trabajo, se optó por utilizar datos ya validados y publicados en una fuente confiable y reconocida en el campo de estudio. Esta decisión permitió continuar con el análisis sin comprometer la rigurosidad del trabajo, al tiempo que se garantizó la coherencia de los resultados obtenidos en relación con los estudios previos disponibles en la literatura.

Es importante señalar que los datos tomados de la publicación existente fueron cuidadosamente seleccionados para asegurar su pertinencia y relevancia en el contexto de la investigación planteada. La adaptación de estos datos permitió superar las dificultades iniciales y generar conclusiones válidas y respaldadas por la evidencia disponible.

Se procedió a la exposición detallada de los datos utilizados en esta investigación, así como de los resultados obtenidos en función de dichos datos (Anexos).

Los resultados obtenidos en este trabajo se basan en la aplicación de la metodología LMDI para el estudio de las variaciones de CO_2, influenciadas por los factores mencionados en el capítulo anterior aplicando un análisis tanto de descomposición única en el período entre 1990 y 2018, y en series de tiempo (año por año) para los Estados Unidos. De igual modo se aplicó la metodología para cada uno de los sectores económicos de los Estados Unidos en forma de series de tiempo para el mismo período antes mencionado. En correspondencia a la distribución de sectores económicos de

Estados Unidos se procedió a agrupar en tres grupos diferentes con el propósito de realizar el análisis en forma de serie de tiempo para cada grupo y también hacer un análisis a dos países seleccionados en cada uno de estos grupos. A continuación, se muestra las actividades económicas de cada sector:

Sector 1: Agricultura

Sector 2: Industria

Sector 3: Comercio y Servicio público, Residencial y Transporte.

3.1. Recopilación de datos

Este trabajo está basado en datos provenientes del Banco Mundial, Eurostat y del IPCC (2014). Los datos fueron escogidos de manera integral; siendo el año 1990 el año base para el cálculo de emisiones. Para estimar las emisiones de CO_2 a partir del consumo de combustible fósil se utilizaron valores representativos de factores de emisión proveniente del IPCC (2006): coal = 4,511 kg CO_2/koe, biofuel = 2,93 kg CO_2/koe, gas natural = 2,106 Kg CO_2/toe, productos del petróleo 2,978 4,511 kg CO_2/koe. Para este estudio, la unidad de energía utilizada es el toe (tonelada equivalente de petróleo), que equivale a la cantidad de energía obtenida por la combustión de un kilogramo de petróleo.

Como medida de control de calidad, se ha analizado la consistencia de los datos comparando con los valores publicados en el Banco Mundial. En concreto, se ha verificado que la aplicación de la identidad Kaya con datos de Eurostat (2017) que aparece en la ecuación (2), da unos resultados de emisiones compatibles con los proporcionados del Banco Mundial con discrepancia del orden del 5 %-10 %.

3.2. Análisis de los resultados en el período único 1990-2018 para los distintos sectores económicos de Estados Unidos

Para este análisis se tiene en consideración la evolución que han tenido las emisiones de CO_2 en los distintos sectores económicos de Estados Unidos haciendo uso exclusivamente datos comprendidos entre los años 1990 y 2018.

En primer lugar, la Tabla II que corresponde al LMDI aditivo señala que las emisiones de dióxido de carbono en Estados Unidos para el período 1990-2018, ha experimentado un

aumento de 203 000 millones de kilogramos. Los efectos de las variables población y PIB per-cápita han sido positivos contribuyendo así al aumento de las emisiones de CO_2, siendo el factor PIB per-cápita el de mayor repercusión en una proporción de 1,5 veces más que el factor población. Estos dos efectos han aportado con las emisiones de CO_2 en Estados Unidos en 1 280 000 y 1 770 000 millones de kilogramos respectivamente.

Tabla II. Descomposición aditiva LMDI para las variaciones de emisiones de CO_2 (en kilogramos) en Estados Unidos en el período 1990-2018.

Cpop	Crpc	Cint	Cmix	Cstr	Ctot
1,28E+12	1,98E+12	-2,41E+12	-5,18E+11	-1,33E+11	2,03E+11

En contraposición los efectos de intensidad energética, mix de combustibles y estructura han contribuido a la deducción de las emisiones de CO_2 en el mismo período de tiempo en aproximadamente 2 410 000, 518 000 y 133 000 millones de kilogramos respectivamente.

Teniendo en cuenta a todos los efectos que influyen en las emisiones de CO_2, la suma de los efectos positivos es mayor que la de los negativos (Figura 3) dando al traste con el aumento en las emisiones totales de CO_2.

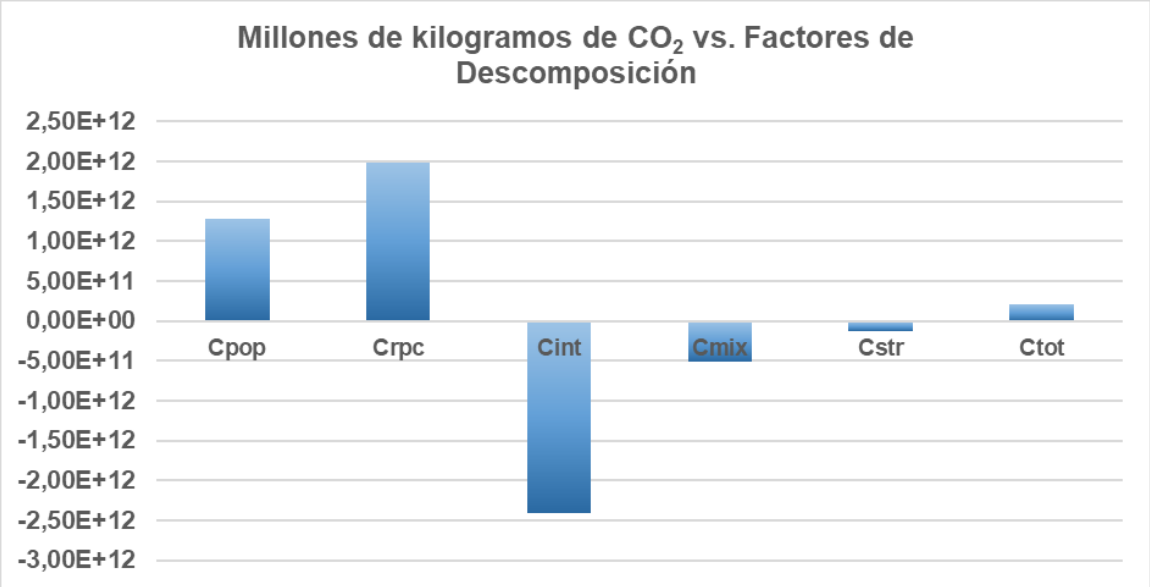

Figura 3. Gráfico de barras para la descomposición aditiva LMDI para las variaciones de emisiones de CO_2 en Estados Unidos en el período 1990-2018. Obtenido de la Tabla II.

En el análisis de descomposición multiplicativa se obtiene como resultado que en el período de 1990-2018 hubo un aumento en las emisiones de CO_2 en Estados Unidos aproximadamente del 4 % (Tabla III). Los efectos que dieron al traste con estos resultados corresponden al aumento del PIB per-cápita y la población aproximadamente en un 50 % y 30 % respectivamente, siendo el PIB per-cápita el que muestra el aporte más considerable, indicando al igual que en la descomposición aditiva una relación directamente proporcional al aumento de las emisiones de CO_2.

Tabla III. Descomposición multiplicativa LMDI para las variaciones de emisiones de CO_2 en Estados Unidos en el período 1990-2018.

Dpop	Drpc	Dint	Dmix	Dstr	Dtot
1,30	1,50	0,61	0,90	0,97	1,04

Por el contrario, los efectos que contribuyeron a la reducción de las emisiones totales de CO_2 durante el mismo período corresponden a la intensidad energética, al mix de combustibles y a la estructura. La intensidad energética constituye el efecto de mayor incidencia de disminución de las emisiones con aproximadamente un 39 % mientras que el efecto del mix de combustible y la estructura tuvieron una incidencia menor aproximada del 10 % y 3 % aproximadamente. Considerando en forma global todos los efectos, la ratio de emisiones de CO_2 muestra un incremento en el período de estudio, siendo los índices con valor por debajo de la unidad, más importantes que aquellos con valores superiores a uno. La Figura 4 muestra un gráfico de tipo radial que resume el análisis multiplicativo.

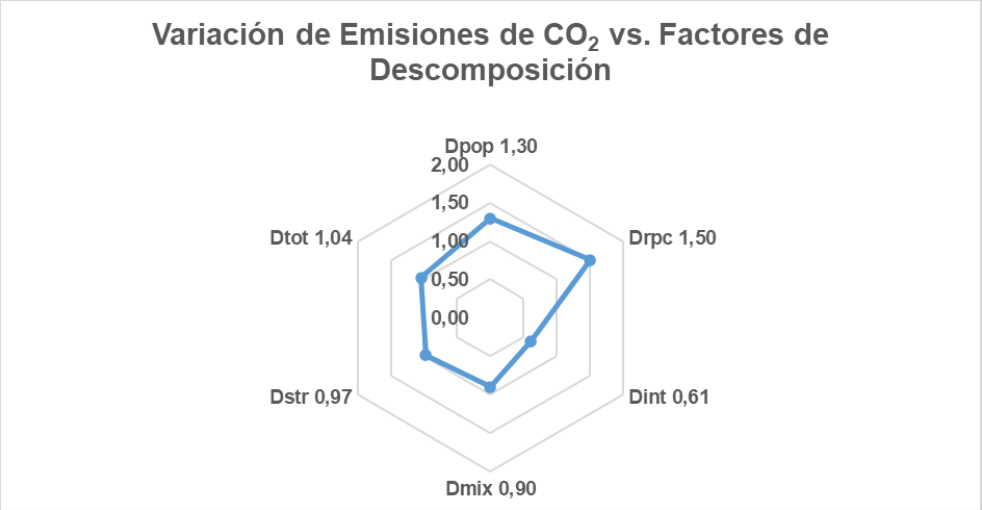

Figura 4. Gráfico de radar para la descomposición multiplicativa LMDI para las variaciones de emisiones de CO_2 en Estados Unidos durante el período 1990-2018. Obtenido de la Tabla III.

3.3. Análisis de los resultados en series de tiempo entre 1990-2018

Para este análisis se considerará la evolución que han tenido las emisiones de CO_2 en Estados Unidos, también en cada uno de los tres grupos (sectores económicos, en series temporales (año por año) entre el año 1990 y el año 2018, tomando como referencia el año 1990.

3.3.1. Análisis de los resultados para el conjunto de Estados Unidos

A continuación, se analizará la evolución de las emisiones de dióxido de carbono en forma de series anuales. La Tabla IV muestra los valores de las contribuciones a las emisiones de CO2 en la UE desde 1990 hasta 2018, dando como resultado un aumento de 355 000 millones de kilogramos de las emisiones de CO_2.

Tabla IV. Descomposición aditiva LMDI para las variaciones de emisiones de CO_2 (en kilogramos) en Estados Unidos en serie anual desde 1990 a 2018.

Tiempo	Cpop	Crpc	Cint	Cmix	Cstr	Ctot
1990-1991	6,37E+10	-6,89E+10	2,78E+10	-4,56E+10	1,00E-06	-2,30E+10
1990-1992	1,31E+11	3,03E+10	-5,88E+10	-4,24E+10	1,00E-06	6,00E+10
1990-1993	1,96E+11	9,82E+10	-1,10E+11	-2,12E+10	1,00E-06	1,63E+11
1990-1994	2,58E+11	2,32E+11	-1,94E+11	-3,09E+10	1,00E-06	2,65E+11
1990-1995	3,18E+11	3,06E+11	-2,29E+11	-3,67E+10	1,00E-06	3,59E+11
1990-1996	3,82E+11	4,39E+11	-2,69E+11	-2,11E+10	1,00E-06	5,30E+11
1990-1997	4,53E+11	6,11E+11	-3,27E+11	5,63E+10	1,00E-06	7,93E+11
1990-1998	5,15E+11	7,78E+11	-4,85E+11	4,44E+10	-1,20E+10	8,41E+11
1990-1999	5,75E+11	9,61E+11	-6,39E+11	1,24E+10	-1,51E+10	8,94E+11
1990-2000	6,42E+11	1,13E+12	-7,41E+11	2,81E+10	-1,82E+10	1,04E+12
1990-2001	6,93E+11	1,13E+12	-7,96E+11	6,50E+10	-4,84E+10	1,04E+12
1990-2002	6,99E+11	1,10E+12	-9,36E+11	1,89E+11	-7,14E+10	9,83E+11
1990-2003	7,70E+11	1,24E+12	-1,12E+12	4,48E+10	-6,52E+10	8,74E+11
1990-2004	8,25E+11	1,40E+12	-1,21E+12	5,10E+10	-6,24E+10	1,00E+12
1990-2005	8,74E+11	1,53E+12	-1,40E+12	6,49E+10	-4,95E+10	1,03E+12
1990-2006	8,96E+11	1,58E+12	-1,83E+12	8,18E+10	-3,87E+10	6,92E+11
1990-2007	9,69E+11	1,67E+12	-1,63E+12	3,03E+10	-4,16E+10	1,00E+12
1990-2008	1,00E+12	1,59E+12	-1,72E+12	-7,25E+10	-5,74E+10	7,39E+11
1990-2009	1,01E+12	1,36E+12	-1,75E+12	-1,58E+11	-9,52E+10	3,64E+11
1990-2010	1,07E+12	1,48E+12	-1,71E+12	-1,44E+11	-1,01E+11	5,96E+11
1990-2011	1,08E+12	1,49E+12	-1,88E+12	-2,02E+11	-9,76E+10	3,84E+11
1990-2012	1,09E+12	1,53E+12	-2,04E+12	-2,85E+11	-1,10E+11	1,82E+11
1990-2013	1,14E+12	1,59E+12	-2,04E+12	-2,92E+11	-1,02E+11	2,96E+11
1990-2014	1,18E+12	1,68E+12	-2,11E+12	-3,17E+11	-1,01E+11	3,32E+11
1990-2015	1,19E+12	1,76E+12	-2,24E+12	-3,98E+11	-1,22E+11	1,84E+11
1990-2016	1,21E+12	1,78E+12	-2,29E+12	-4,63E+11	-1,42E+11	8,80E+10
1990-2017	1,24E+12	1,84E+12	-2,41E+12	-4,75E+11	-1,32E+11	6,34E+10
1990-2018	1,28E+12	1,98E+12	-2,41E+12	-5,18E+11	-1,33E+11	2,03E+11

Los efectos que han contribuido al aumento en las emisiones a lo largo de todos los años corresponden al aumento del PIB per-cápita y de la población, siendo el primero el que ha mostrado una mayor tendencia creciente (Figura 5). Al contrario, los efectos que han influido en la reducción de las emisiones de CO_2 son debidos a la intensidad energética, mix de combustibles y la estructura, siendo el efecto de la intensidad energética el que ha tenido mayor incidencia en la reducción de las emisiones durante el transcurso de los años (ver curva violeta de la Figura 5). Considerando la totalidad de los resultados, los efectos en conjunto, la suma de los efectos positivos ha sido mayor a la suma de los efectos negativos dando como consecuencia un aumento de las emisiones totales de CO_2 a través de los años.

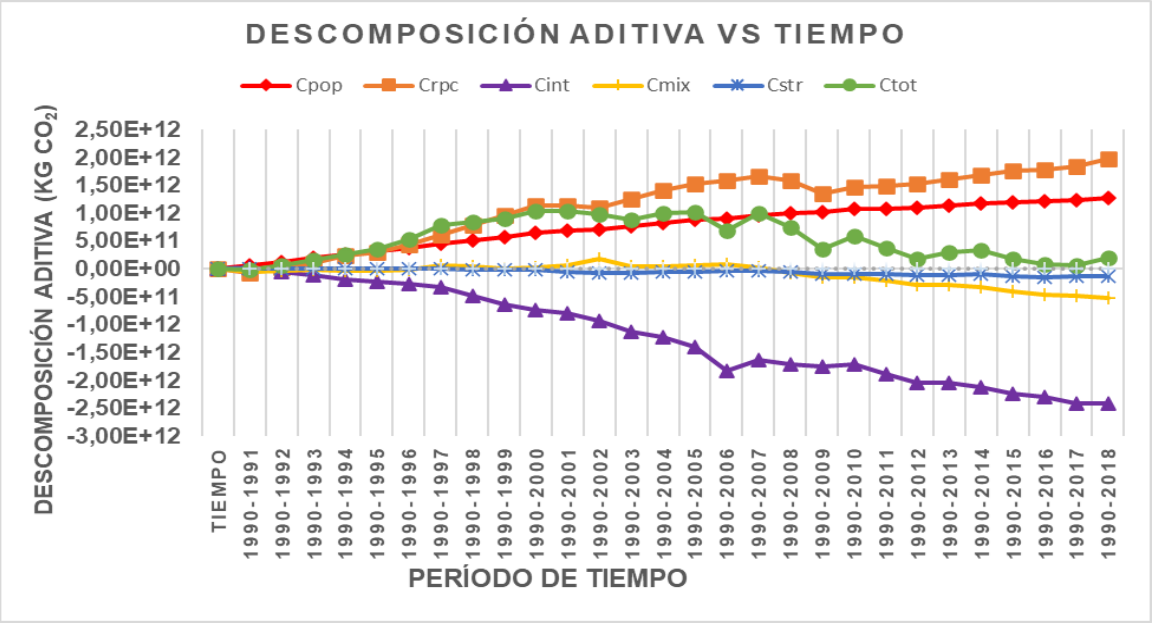

Figura 5. Gráfico para la descomposición aditiva LMDI para las variaciones de emisiones de CO_2 en Estados Unidos en serie anual desde 1990 a 2018. Obtenido de la Tabla IV.

Por otro lado, en la descomposición multiplicativa se muestran los cambios relativos de las emisiones de CO_2 en Estados Unidos desde 1990 a 2018. La Tabla V muestra los valores relativos de los diferentes efectos sobre las emisiones de CO_2.

Tabla V. Descomposición multiplicativa LMDI para las variaciones de emisiones de CO_2 en Estados Unidos en serie anual desde 1990 a 2018.

Tiempo	Dpop	Drpc	Dint	Dmix	Dstr	Dtot
1990-1991	1,01	0,99	1,01	0,99	1,00	1,00
1990-1992	1,03	1,01	0,99	0,99	1,00	1,01
1990-1993	1,04	1,02	0,98	1,00	1,00	1,03
1990-1994	1,05	1,05	0,96	0,99	1,00	1,06
1990-1995	1,07	1,06	0,95	0,99	1,00	1,08
1990-1996	1,08	1,09	0,95	1,00	1,00	1,11
1990-1997	1,09	1,13	0,94	1,01	1,00	1,17
1990-1998	1,10	1,16	0,91	1,01	1,00	1,18
1990-1999	1,12	1,20	0,88	1,00	1,00	1,19
1990-2000	1,13	1,24	0,87	1,01	1,00	1,22
1990-2001	1,14	1,24	0,86	1,01	0,99	1,22
1990-2002	1,14	1,23	0,84	1,04	0,99	1,21
1990-2003	1,16	1,27	0,81	1,01	0,99	1,18
1990-2004	1,17	1,30	0,79	1,01	0,99	1,21
1990-2005	1,18	1,34	0,77	1,01	0,99	1,21
1990-2006	1,19	1,36	0,70	1,02	0,99	1,14
1990-2007	1,20	1,37	0,73	1,01	0,99	1,21
1990-2008	1,22	1,36	0,72	0,99	0,99	1,15
1990-2009	1,22	1,32	0,70	0,97	0,98	1,08
1990-2010	1,24	1,34	0,71	0,97	0,98	1,12
1990-2011	1,24	1,35	0,68	0,96	0,98	1,08
1990-2012	1,25	1,37	0,66	0,94	0,98	1,04
1990-2013	1,26	1,38	0,66	0,94	0,98	1,06
1990-2014	1,27	1,41	0,65	0,94	0,98	1,07
1990-2015	1,28	1,43	0,63	0,92	0,98	1,04
1990-2016	1,29	1,45	0,62	0,91	0,97	1,02
1990-2017	1,29	1,47	0,61	0,91	0,97	1,01
1990-2018	1,30	1,50	0,61	0,90	0,97	1,04

De igual manera que en la descomposición aditiva, las emisiones de CO_2 han mantenido un aumento a lo largo del período de tiempo de estudio (Figura 6), condicionada por los factores de población y PIB per-cápita, siendo este último el factor que ha tenido mayor incidencia a través del tiempo. En cambio, los factores que han incidido en la disminución de las emisiones de CO_2 corresponden a la intensidad energética, el mix de combustibles y la estructura, influyendo en mayor proporción la intensidad energética. Teniendo en cuenta al conjunto de efectos, la ratio de emisiones de CO_2 muestra un aumento a través de los años, siendo los índices mayores a uno más influyente que aquellos con valores por debajo de la unidad.

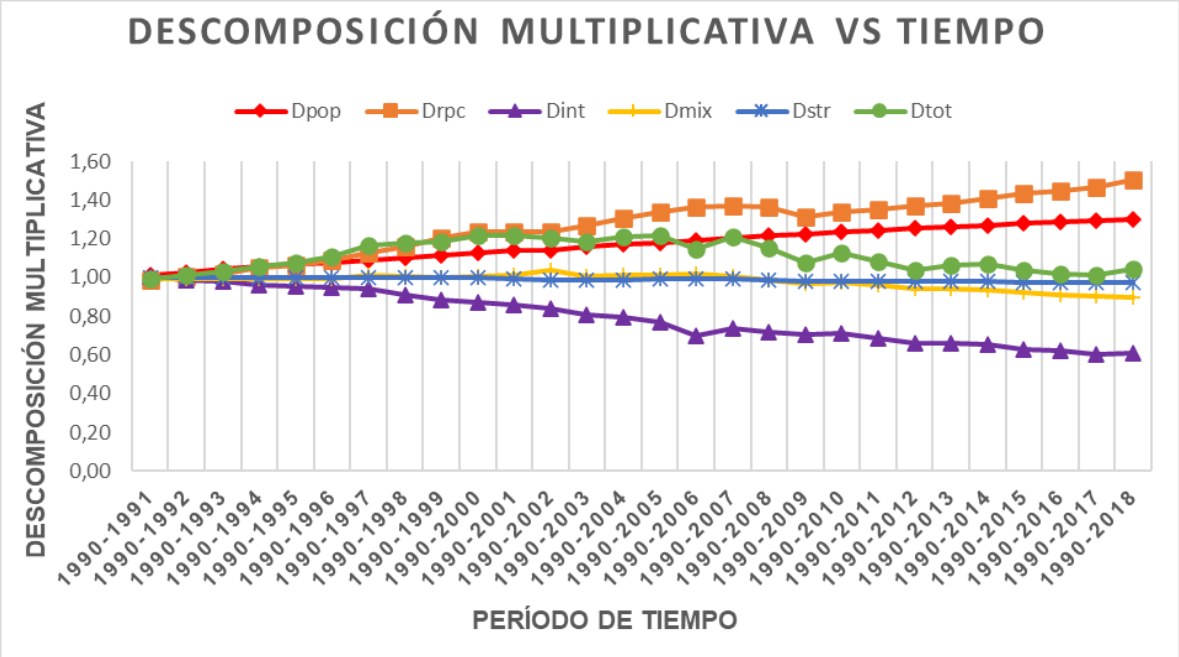

Figura 6. Gráfico para la descomposición multiplicativa LMDI para las variaciones de emisiones de CO_2 en Estados Unidos en serie anual desde 1990 a 2018. Obtenido de la Tabla V.

3.3.2. Análisis de los resultados para cada uno de los sectores económicos de los Estados Unidos

Las distintas actividades económicas han sido agrupadas en tres sectores económicos fundamentales, utilizando como criterio de clasificación el tipo de actividad que realiza y su contribución al desarrollo económico. El primer sector económico está conformado por la agricultura, silvicultura, caza y pesca. Para este sector económico, los resultados muestran un incremento de las emisiones de CO_2 en 15 200 millones de kilogramos

desde 1990 a 2018 (Tabla VI). Los factores que principalmente propiciaron el aumento de las emisiones son: la población, el PIB per-cápita y la intensidad energética, en 11 000, 17 100 y 14 000 millones de kilogramos de CO_2 respectivamente. Por otra parte, el factor que ayudó a la reducción de emisiones de CO_2 a través del período de estudio corresponde al mix de combustibles en 25 800 millones kilogramos de CO_2.

Tabla VI. Descomposición aditiva LMDI para las variaciones de emisiones de CO_2 (en kilogramos) en el Sector Económico 1 en serie anual desde 1990 a 2018.

Tiempo	Cpop	Crpc	Cint	Cmix	Cstr	Ctot
1990-1991	5,55E+08	-6,00E+08	-4,78E+07	2,05E+07	1,00E-06	-7,23E+07
1990-1992	1,18E+09	2,73E+08	2,29E+09	-5,59E+07	1,00E-06	3,68E+09
1990-1993	1,71E+09	8,56E+08	-1,13E+09	-1,14E+08	1,00E-06	1,32E+09
1990-1994	2,24E+09	2,02E+09	-1,99E+09	-2,04E+08	1,00E-06	2,06E+09
1990-1995	2,75E+09	2,65E+09	-3,08E+09	-1,53E+08	1,00E-06	2,17E+09
1990-1996	3,29E+09	3,77E+09	-3,68E+09	-1,75E+08	1,00E-06	3,21E+09
1990-1997	3,82E+09	5,15E+09	-5,04E+09	-2,52E+08	1,00E-06	3,69E+09
1990-1998	4,00E+09	6,05E+09	-5,97E+09	-2,55E+08	-3,86E+09	-3,81E+07
1990-1999	4,43E+09	7,40E+09	-9,08E+09	-2,40E+08	-5,95E+09	-3,44E+09
1990-2000	5,02E+09	8,83E+09	-8,58E+09	-1,53E+08	-6,16E+09	-1,03E+09
1990-2001	5,70E+09	9,27E+09	-4,59E+09	-1,05E+08	-7,26E+09	3,01E+09
1990-2002	6,01E+09	9,48E+09	2,42E+10	-2,43E+10	-1,36E+10	1,84E+09
1990-2003	5,97E+09	9,65E+09	1,39E+10	-2,58E+10	-7,20E+09	-3,50E+09
1990-2004	7,10E+09	1,21E+10	1,37E+10	-2,40E+10	-2,69E+09	6,20E+09
1990-2005	7,50E+09	1,32E+10	1,64E+10	-2,40E+10	-7,00E+09	6,10E+09
1990-2006	8,20E+09	1,45E+10	2,32E+10	-2,32E+10	-1,33E+10	9,39E+09
1990-2007	8,26E+09	1,42E+10	1,80E+10	-2,55E+10	-9,92E+09	5,06E+09
1990-2008	8,48E+09	1,35E+10	1,59E+10	-2,51E+10	-9,74E+09	2,97E+09
1990-2009	8,53E+09	1,15E+10	1,90E+10	-2,60E+10	-1,33E+10	-2,77E+08
1990-2010	9,36E+09	1,29E+10	1,68E+10	-2,37E+10	-1,09E+10	4,53E+09
1990-2011	9,32E+09	1,28E+10	6,08E+09	-2,26E+10	-3,97E+09	1,66E+09
1990-2012	9,45E+09	1,32E+10	3,83E+09	-2,06E+10	-5,90E+09	-4,95E+07
1990-2013	1,02E+10	1,43E+10	-8,53E+08	-1,97E+10	-1,10E+08	3,81E+09
1990-2014	1,03E+10	1,47E+10	8,07E+08	-1,89E+10	-4,98E+09	1,97E+09
1990-2015	1,05E+10	1,55E+10	9,00E+09	-2,30E+10	-1,04E+10	1,54E+09
1990-2016	1,06E+10	1,55E+10	1,22E+10	-2,42E+10	-1,45E+10	-3,76E+08
1990-2017	1,07E+10	1,59E+10	1,40E+10	-2,64E+10	-1,53E+10	-1,15E+09
1990-2018	1,10E+10	1,71E+10	1,28E+10	-2,58E+10	-1,54E+10	-3,21E+08

En la Figura 7 se puede observar la evolución de las emisiones de CO_2 para el sector económico 1 de los Estados Unidos. Los factores PIB per-cápita, población e intensidad energética han tenido una tendencia creciente en las emisiones de gas. De forma contraria el mix de combustible y la estructura han contribuido al descenso de las emisiones totales.

El aumento brusco de la intensidad energética en 2001 puede estar relacionado con los ataques del 11 de septiembre del mismo año y las secuelas económicas y sociales que siguieron en Estados Unidos. Los ataques provocaron una gran interrupción en varios sectores de la economía, incluida la agricultura, debido a la incertidumbre económica, cambios en las políticas de seguridad y la interrupción temporal en la logística y distribución de productos. Estos factores pudieron haber impactado la eficiencia energética en el sector agrícola, haciendo que este sector consumiera más energía por unidad de producción en ese año. La caída posterior en el 2002 puede estar asociada con la recuperación y ajustes económicos que siguieron en los años posteriores, cuando el país implementó nuevas tecnologías y políticas para mejorar la eficiencia energética.

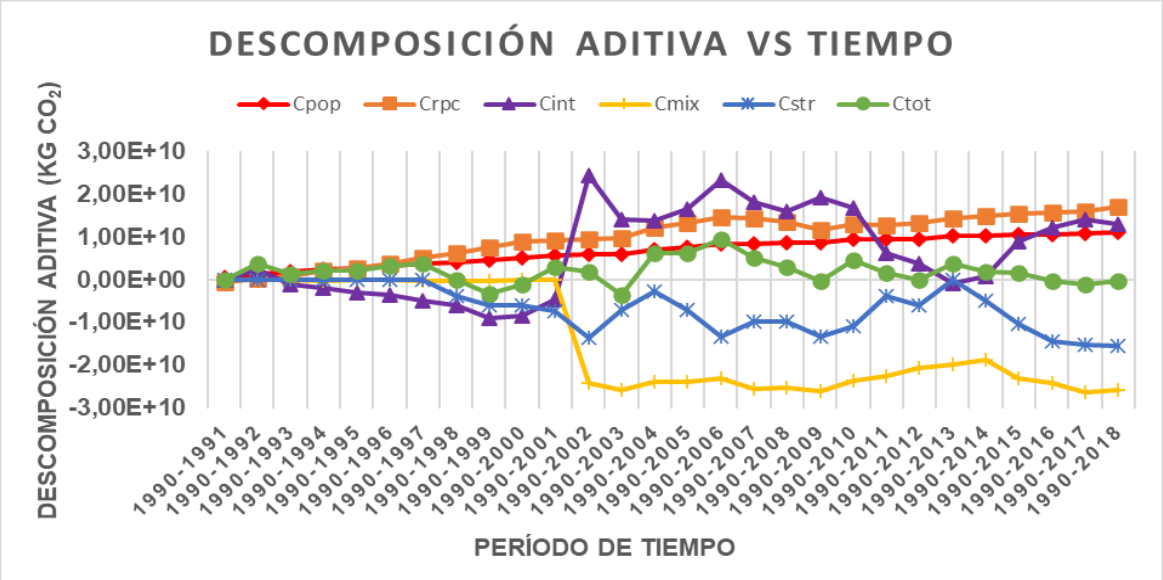

Figura 7. Gráfico para la descomposición aditiva LMDI para las variaciones de emisiones de CO_2 en el Sector Económico 1 de Estados Unidos en serie anual desde 1990 a 2018. Obtenido de la Tabla VI.

De igual manera para el análisis de la descomposición multiplicativa, el resultado nos muestra que no se produce prácticamente variación de las emisiones totales en el año 2018 con respecto al año 1990 (Tabla VII). Cabe destacar que mantiene el mismo comportamiento que en la descomposición aditiva en el factor intensidad en el 2001.

Tabla VII. Descomposición multiplicativa LMDI para las variaciones de emisiones de CO_2 en el Sector Económico 1 en serie anual desde 1990 a 2018

Tiempo	Dpop	Drpc	Dint	Dmix	Dstr	Dtot
1990-1991	1,000116	0,999874	0,999990	1,000004	1,000000	0,999985
1990-1992	1,000245	1,000057	1,000475	0,999988	1,000000	1,000765
1990-1993	1,000352	1,000176	0,999767	0,999977	1,000000	1,000272
1990-1994	1,000457	1,000412	0,999593	0,999958	1,000000	1,000421
1990-1995	1,000556	1,000535	0,999379	0,999969	1,000000	1,000438
1990-1996	1,000653	1,000750	0,999270	0,999965	1,000000	1,000638
1990-1997	1,000741	1,000999	0,999024	0,999951	1,000000	1,000714
1990-1998	1,000772	1,001168	0,998848	0,999951	0,999255	0,999993
1990-1999	1,000851	1,001423	0,998258	0,999954	0,998858	0,999340
1990-2000	1,000953	1,001676	0,998375	0,999971	0,998833	0,999804
1990-2001	1,001081	1,001759	0,999130	0,999980	0,998625	1,000571
1990-2002	1,001142	1,001801	1,004614	0,995396	0,997424	1,000349
1990-2003	1,001145	1,001852	1,002670	0,995061	0,998621	0,999330
1990-2004	1,001348	1,002291	1,002598	0,995466	0,999491	1,001177
1990-2005	1,001421	1,002498	1,003116	0,995464	0,998677	1,001156
1990-2006	1,001603	1,002830	1,004547	0,995479	0,997403	1,001834
1990-2007	1,001570	1,002708	1,003416	0,995173	0,998118	1,000960
1990-2008	1,001650	1,002620	1,003102	0,995121	0,998108	1,000578
1990-2009	1,001723	1,002329	1,003847	0,994761	0,997313	0,999944
1990-2010	1,001848	1,002549	1,003325	0,995334	0,997861	1,000893
1990-2011	1,001880	1,002579	1,001225	0,995466	0,999200	1,000334
1990-2012	1,001946	1,002712	1,000788	0,995773	0,998787	0,999990
1990-2013	1,002079	1,002914	0,999826	0,995993	0,999978	1,000776
1990-2014	1,002089	1,002985	1,000164	0,996184	0,998991	1,000399
1990-2015	1,002164	1,003185	1,001852	0,995283	0,997855	1,000317
1990-2016	1,002204	1,003226	1,002532	0,994991	0,996997	0,999922
1990-2017	1,002229	1,003316	1,002915	0,994515	0,996819	0,999761
1990-2018	1,002262	1,003521	1,002636	0,994713	0,996834	0,999934

El efecto de la población tiene una influencia creciente estable (Figura 8), en cambio el efecto del mix de combustible contribuyó a la reducción de las emisiones de CO_2 especialmente a partir del año 2001.

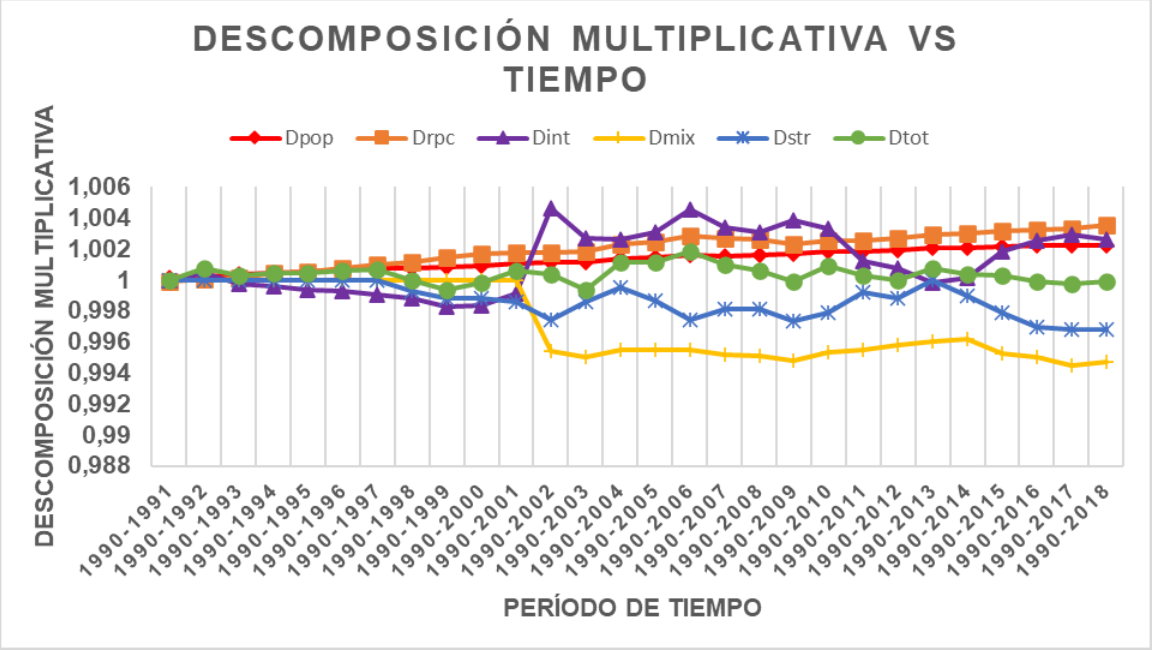

Figura 8. Gráfico para la descomposición multiplicativa LMDI para las variaciones de emisiones de CO_2 en el Sector Económico 1 en serie anual desde 1990 a 2018. Obtenido de la Tabla VII.

El sector económico 2 de los Estados Unidos está conformado principalmente por el sector industrial con actividades económicas como minería, manufactura, construcción, electricidad, agua y gas.

Para este sector económico se observa en primer lugar que para el año 2018 las emisiones totales de CO_2 han disminuido en 144 000 millones de kilogramos. Los factores que aportaron en mayor medida al aumento de las emisiones de CO_2 fueron la población y el PIB per-cápita, con aproximadamente 384 000 y 597 000 millones de kilogramos respectivamente. En tanto los factores que contribuyeron a la reducción de las emisiones de CO_2 fueron el mix de combustibles, la intensidad energética y la estructura con aproximadamente 586 000, 198 000 y 341 000 millones de kilogramos respectivamente.

Tabla VIII. Descomposición aditiva LMDI para las variaciones de emisiones de CO_2 (en kilogramos) en el Sector Económico 2 de Estados Unidos en serie anual desde 1990 a 2018.

Tiempo	Cpop	Crpc	Cint	Cmix	Cstr	Ctot
1990-1991	2,16E+10	-2,34E+10	1,60E+11	-3,48E+10	1,00E-06	1,23E+11
1990-1992	4,42E+10	1,02E+10	1,46E+11	-4,64E+10	1,00E-06	1,54E+11
1990-1993	6,51E+10	3,27E+10	5,40E+10	-3,08E+10	1,00E-06	1,21E+11
1990-1994	8,57E+10	7,73E+10	2,82E+10	-3,34E+10	1,00E-06	1,58E+11
1990-1995	1,05E+11	1,01E+11	-3,15E+09	-3,31E+10	1,00E-06	1,70E+11
1990-1996	1,26E+11	1,44E+11	-2,52E+10	-3,05E+10	1,00E-06	2,14E+11
1990-1997	1,50E+11	2,03E+11	-4,35E+09	-1,00E+10	1,00E-06	3,39E+11
1990-1998	1,71E+11	2,58E+11	-3,00E+10	-1,47E+10	-3,44E+10	3,50E+11
1990-1999	1,91E+11	3,19E+11	-6,10E+10	-2,85E+10	-4,37E+10	3,77E+11
1990-2000	2,12E+11	3,73E+11	-1,02E+11	-2,51E+10	-5,15E+10	4,07E+11
1990-2001	2,25E+11	3,66E+11	-1,08E+11	-1,71E+10	-1,26E+11	3,39E+11
1990-2002	2,25E+11	3,54E+11	-1,68E+11	1,82E+10	-1,81E+11	2,49E+11
1990-2003	2,42E+11	3,92E+11	-2,57E+11	-2,09E+10	-1,76E+11	1,80E+11
1990-2004	2,62E+11	4,45E+11	-2,77E+11	-1,51E+10	-1,62E+11	2,53E+11
1990-2005	2,73E+11	4,79E+11	-4,03E+11	-1,35E+10	-1,39E+11	1,96E+11
1990-2006	2,82E+11	4,97E+11	-5,52E+11	-7,45E+09	-1,09E+11	1,11E+11
1990-2007	3,01E+11	5,19E+11	-5,04E+11	-2,35E+10	-1,21E+11	1,72E+11
1990-2008	3,10E+11	4,92E+11	-5,14E+11	-5,28E+10	-1,62E+11	7,28E+10
1990-2009	3,02E+11	4,08E+11	-4,93E+11	-7,88E+10	-2,63E+11	-1,26E+11
1990-2010	3,25E+11	4,49E+11	-4,54E+11	-7,33E+10	-2,70E+11	-2,41E+10
1990-2011	3,29E+11	4,52E+11	-5,12E+11	-9,32E+10	-2,60E+11	-8,42E+10
1990-2012	3,39E+11	4,72E+11	-4,97E+11	-1,20E+11	-2,79E+11	-8,55E+10
1990-2013	3,45E+11	4,84E+11	-5,55E+11	-1,21E+11	-2,68E+11	-1,16E+11
1990-2014	3,58E+11	5,11E+11	-5,67E+11	-1,27E+11	-2,67E+11	-9,18E+10
1990-2015	3,60E+11	5,29E+11	-5,66E+11	-1,58E+11	-3,19E+11	-1,54E+11
1990-2016	3,66E+11	5,35E+11	-5,38E+11	-1,81E+11	-3,60E+11	-1,78E+11
1990-2017	3,73E+11	5,54E+11	-5,90E+11	-1,83E+11	-3,38E+11	-1,84E+11
1990-2018	3,84E+11	5,97E+11	-5,86E+11	-1,98E+11	-3,41E+11	-1,44E+11

La Figura 9 muestra a partir del año 2007 existe una tendencia estable de disminución de las emisiones totales de CO_2 en correspondencia con la disminución de las emisiones principalmente del factor intensidad energética y en menor medida por el factor del mix de combustibles y estructura.

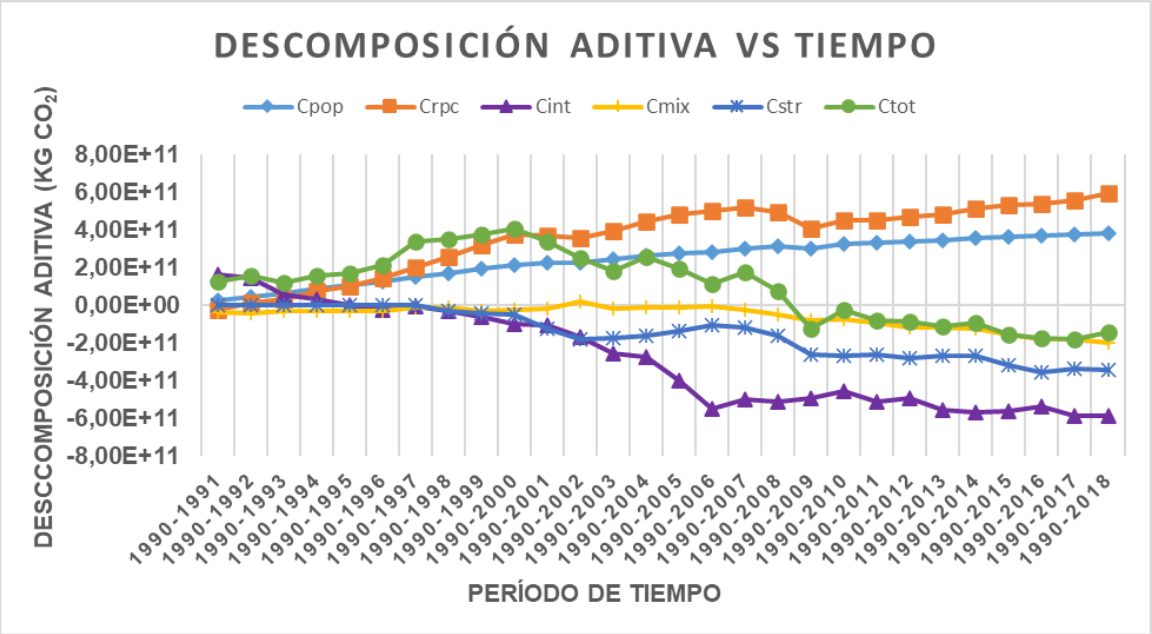

Figura 9. Gráfico para la descomposición aditiva LMDI para las variaciones de emisiones de CO_2 en el Sector Económico 2 de Estados Unidos en serie anual desde 1990 a 2018. Obtenido de la Tabla VIII

La Tabla IX y Figura 10 complementan los análisis que han tenido los cambios de las emisiones de CO_2 de manera porcentual durante el período de tiempo estudiado.

Tabla IX. Descomposición multiplicativa LMDI para las variaciones de emisiones de CO_2 en el Sector Económico 2 de Estados Unidos en serie anual desde 1990 a 2018.

Tiempo	Dpop	Drpc	Dint	Dmix	Dstr	Dtot
1990-1991	1,00	1,00	1,03	0,99	1,00	1,03
1990-1992	1,01	1,00	1,03	0,99	1,00	1,03
1990-1993	1,01	1,01	1,01	0,99	1,00	1,03
1990-1994	1,02	1,02	1,01	0,99	1,00	1,03
1990-1995	1,02	1,02	1,00	0,99	1,00	1,03
1990-1996	1,03	1,03	0,99	0,99	1,00	1,04
1990-1997	1,03	1,04	1,00	1,00	1,00	1,07
1990-1998	1,03	1,05	0,99	1,00	0,99	1,07
1990-1999	1,04	1,06	0,99	0,99	0,99	1,08
1990-2000	1,04	1,07	0,98	1,00	0,99	1,08
1990-2001	1,04	1,07	0,98	1,00	0,98	1,07
1990-2002	1,04	1,07	0,97	1,00	0,97	1,05
1990-2003	1,05	1,08	0,95	1,00	0,97	1,04
1990-2004	1,05	1,09	0,95	1,00	0,97	1,05
1990-2005	1,05	1,09	0,93	1,00	0,97	1,04
1990-2006	1,06	1,10	0,90	1,00	0,98	1,02
1990-2007	1,06	1,10	0,91	1,00	0,98	1,03
1990-2008	1,06	1,10	0,90	0,99	0,97	1,01
1990-2009	1,06	1,09	0,91	0,98	0,95	0,97
1990-2010	1,07	1,09	0,91	0,99	0,95	1,00
1990-2011	1,07	1,10	0,90	0,98	0,95	0,98
1990-2012	1,07	1,10	0,90	0,98	0,94	0,98
1990-2013	1,07	1,10	0,89	0,98	0,95	0,98
1990-2014	1,08	1,11	0,89	0,97	0,95	0,98
1990-2015	1,08	1,11	0,89	0,97	0,94	0,97
1990-2016	1,08	1,12	0,89	0,96	0,93	0,96
1990-2017	1,08	1,12	0,88	0,96	0,93	0,96
1990-2018	1,08	1,13	0,89	0,96	0,93	0,97

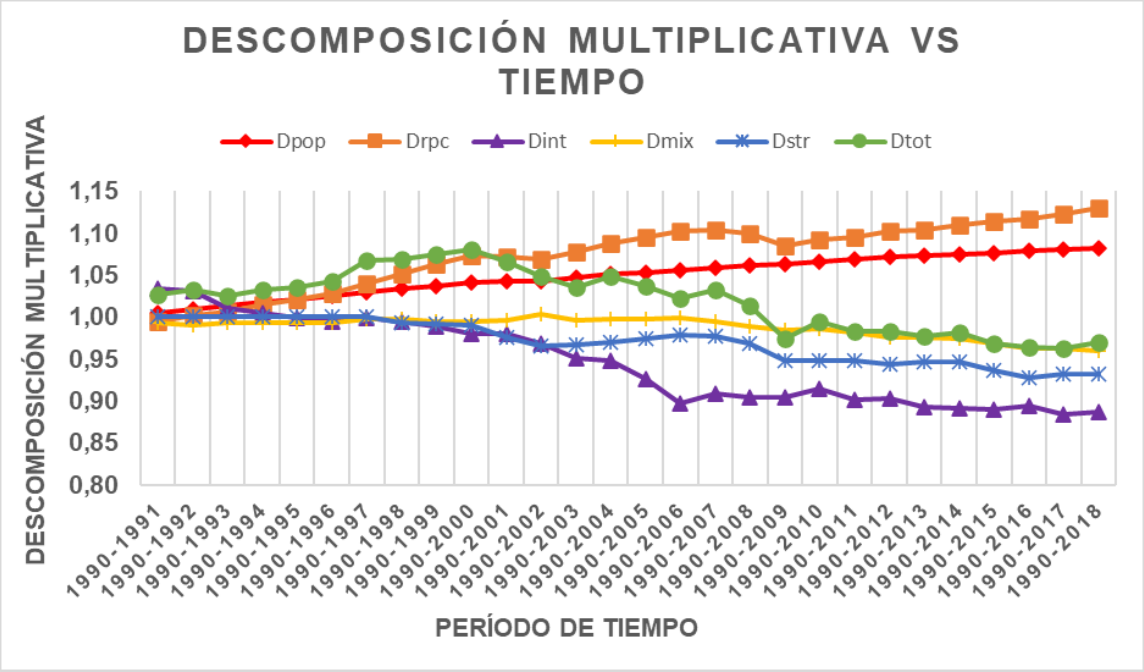

Figura 10. Gráfico para la descomposición multiplicativa LMDI para las variaciones de emisiones de CO_2 en el Sector Económico 2 en Estados Unidos en serie anual desde 1990 a 2018. Obtenido de la Tabla IX.

De manera general las emisiones por el factor PIB per-cápita han estado entre el 2 % y 13 % por encima del año en referencia, las emisiones por el factor población entre el 1 % y 8 % por encima del mismo año. Por el contrario, el factor intensidad energética ha mantenido una mayor contribución negativa de las emisiones de CO_2 entre 7% y 11 % a partir del 2005, el factor de estructura a partir del año 2002 entre un 3 % y un 7 % y el factor mix de combustibles con una influencia un poco menor, entre 1 % y 4 % a partir del año 2008.

El sector económico 3 el cual es el mayor de los Estados Unidos se encuentra conformado fundamentalmente por el transporte y servicios gubernamentales, financieros, profesionales y servicios personales tales como educación, atención médica y servicios de bienes raíces. Este grupo es el de mayor incidencia en las emisiones de CO_2 durante el período estudiado. Con respecto a 1990, hay un aumento de 344 000 millones de kilogramos de CO_2 emitidas en 2018, siendo los factores que incidieron el PIB per-cápita con aproximadamente un total de 1 370 000 millones de kilogramos, el factor población con 881 180 millones de kilogramos emitidas y el factor estructura con

224 000 millones de kilogramos (Tabla X). Cabe destacar que, a diferencia de los sectores económicos estudiados anteriormente, el factor estructura contribuye significativamente al aumento de las emisiones totales en el sector económico 3. En tanto los factores de intensidad energética y mix de combustibles, contribuyeron a la reducción de las emisiones en aproximadamente 1 837 000 y 295 000 millones de kilogramos respectivamente.

Tabla X. Descomposición aditiva LMDI para las variaciones de emisiones de CO_2 (en kilogramos) en el Sector Económico 3 de los Estados Unidos en serie anual desde 1990 a 2018.

Tiempo	Cpop	Crpc	Cint	Cmix	Cstr	Ctot
1990-1991	4,16E+10	-4,49E+10	-1,32E+11	-1,09E+10	1,00E-06	-1,46E+11
1990-1992	8,53E+10	1,98E+10	-2,07E+11	4,04E+09	1,00E-06	-9,77E+10
1990-1993	1,29E+11	6,47E+10	-1,63E+11	9,76E+09	1,00E-06	4,05E+10
1990-1994	1,70E+11	1,53E+11	-2,21E+11	2,65E+09	1,00E-06	1,05E+11
1990-1995	2,11E+11	2,02E+11	-2,22E+11	-3,43E+09	1,00E-06	1,87E+11
1990-1996	2,53E+11	2,91E+11	-2,40E+11	9,60E+09	1,00E-06	3,13E+11
1990-1997	2,99E+11	4,03E+11	-3,17E+11	6,66E+10	1,00E-06	4,51E+11
1990-1998	3,40E+11	5,14E+11	-4,49E+11	5,94E+10	2,62E+10	4,91E+11
1990-1999	3,80E+11	6,35E+11	-5,69E+11	4,11E+10	3,45E+10	5,21E+11
1990-2000	4,24E+11	7,46E+11	-6,30E+11	5,34E+10	3,94E+10	6,33E+11
1990-2001	4,62E+11	7,52E+11	-6,84E+11	8,22E+10	8,52E+10	6,98E+11
1990-2002	4,69E+11	7,39E+11	-7,93E+11	1,95E+11	1,23E+11	7,33E+11
1990-2003	5,22E+11	8,43E+11	-8,77E+11	9,16E+10	1,18E+11	6,98E+11
1990-2004	5,56E+11	9,45E+11	-9,51E+11	9,00E+10	1,02E+11	7,42E+11
1990-2005	5,93E+11	1,04E+12	-1,01E+12	1,02E+11	9,66E+10	8,24E+11
1990-2006	6,06E+11	1,07E+12	-1,30E+12	1,12E+11	8,33E+10	5,71E+11
1990-2007	6,59E+11	1,14E+12	-1,14E+12	7,93E+10	8,97E+10	8,22E+11
1990-2008	6,83E+11	1,08E+12	-1,22E+12	5,42E+09	1,15E+11	6,64E+11
1990-2009	6,95E+11	9,40E+11	-1,28E+12	-5,36E+10	1,81E+11	4,85E+11
1990-2010	7,36E+11	1,02E+12	-1,27E+12	-4,67E+10	1,80E+11	6,17E+11
1990-2011	7,45E+11	1,02E+12	-1,38E+12	-8,59E+10	1,66E+11	4,70E+11
1990-2012	7,47E+11	1,04E+12	-1,54E+12	-1,45E+11	1,75E+11	2,73E+11
1990-2013	7,83E+11	1,10E+12	-1,49E+12	-1,51E+11	1,66E+11	4,06E+11
1990-2014	8,10E+11	1,16E+12	-1,55E+12	-1,71E+11	1,71E+11	4,20E+11
1990-2015	8,24E+11	1,21E+12	-1,69E+12	-2,17E+11	2,07E+11	3,41E+11
1990-2016	8,38E+11	1,23E+12	-1,77E+12	-2,58E+11	2,32E+11	2,71E+11
1990-2017	8,55E+11	1,27E+12	-1,84E+12	-2,65E+11	2,21E+11	2,47E+11
1990-2018	8,81E+11	1,37E+12	-1,84E+12	-2,95E+11	2,24E+11	3,44E+11

La Figura 11 muestra una tendencia decreciente de las emisiones totales de CO_2 a pesar del aumento de los niveles de emisiones por los factores PIB per-cápita y en menor proporción también por el factor población, esto es debido a la disminución de las emisiones por el factor mix de combustible y especialmente por el factor intensidad energética.

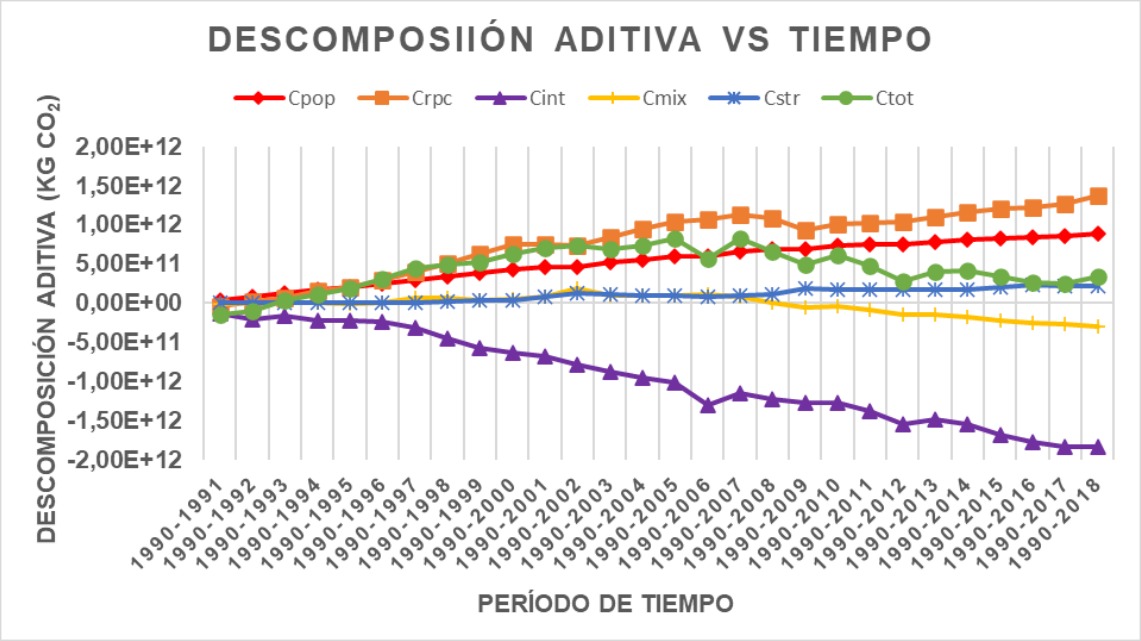

Figura 11. Gráfico para la descomposición aditiva LMDI para las variaciones de emisiones de CO_2 en el Sector Económico 3 de Estados Unidos en serie anual desde 1995 a 2015. Obtenido de la Tabla X.

La Tabla XI y la Figura 12 complementan el análisis que han tenido los cambios de las emisiones en forma porcentual. A partir del año 1991 se observa un aumento de las emisiones de CO_2 por encima del año 1990 que se ha mantenido hasta el año 2005. Posteriormente las emisiones totales de CO_2 varían de CO_2, aunque cabe destacar que teniendo como referencio el año 1990 todos los años en estudio presentan emisiones mayores. Además, tanto en la Figura 10 como en la Figura 11 destacan el aumento de emisiones en 1993 debido al aumento de la contribución de intensidad energética.

Tabla XI. Descomposición multiplicativa LMDI para las variaciones de emisiones de CO_2 en el Sector Económico 3 de Estados Unidos en serie anual desde 1990 a 2018.

Tiempo	Dpop	Drpc	Dint	Dmix	Dstr	Dtot
1990-1991	1,01	0,99	0,97	1,00	1,00	0,97
1990-1992	1,02	1,00	0,96	1,00	1,00	0,98
1990-1993	1,03	1,01	0,97	1,00	1,00	1,01
1990-1994	1,04	1,03	0,96	1,00	1,00	1,02
1990-1995	1,04	1,04	0,96	1,00	1,00	1,04
1990-1996	1,05	1,06	0,95	1,00	1,00	1,06
1990-1997	1,06	1,08	0,94	1,01	1,00	1,09
1990-1998	1,07	1,10	0,92	1,01	1,01	1,10
1990-1999	1,08	1,13	0,90	1,01	1,01	1,11
1990-2000	1,08	1,15	0,89	1,01	1,01	1,13
1990-2001	1,09	1,15	0,88	1,02	1,02	1,14
1990-2002	1,09	1,15	0,86	1,04	1,02	1,15
1990-2003	1,11	1,18	0,85	1,02	1,02	1,14
1990-2004	1,11	1,20	0,83	1,02	1,02	1,15
1990-2005	1,12	1,22	0,83	1,02	1,02	1,17
1990-2006	1,13	1,23	0,78	1,02	1,02	1,12
1990-2007	1,13	1,24	0,81	1,02	1,02	1,17
1990-2008	1,14	1,23	0,79	1,00	1,02	1,14
1990-2009	1,15	1,21	0,77	0,99	1,04	1,10
1990-2010	1,16	1,22	0,78	0,99	1,04	1,13
1990-2011	1,16	1,23	0,76	0,98	1,03	1,10
1990-2012	1,17	1,24	0,73	0,97	1,04	1,06
1990-2013	1,17	1,25	0,74	0,97	1,03	1,09
1990-2014	1,18	1,26	0,73	0,97	1,04	1,09
1990-2015	1,18	1,28	0,71	0,96	1,04	1,07
1990-2016	1,19	1,29	0,69	0,95	1,05	1,06
1990-2017	1,19	1,30	0,68	0,95	1,05	1,05
1990-2018	1,20	1,32	0,69	0,94	1,05	1,07

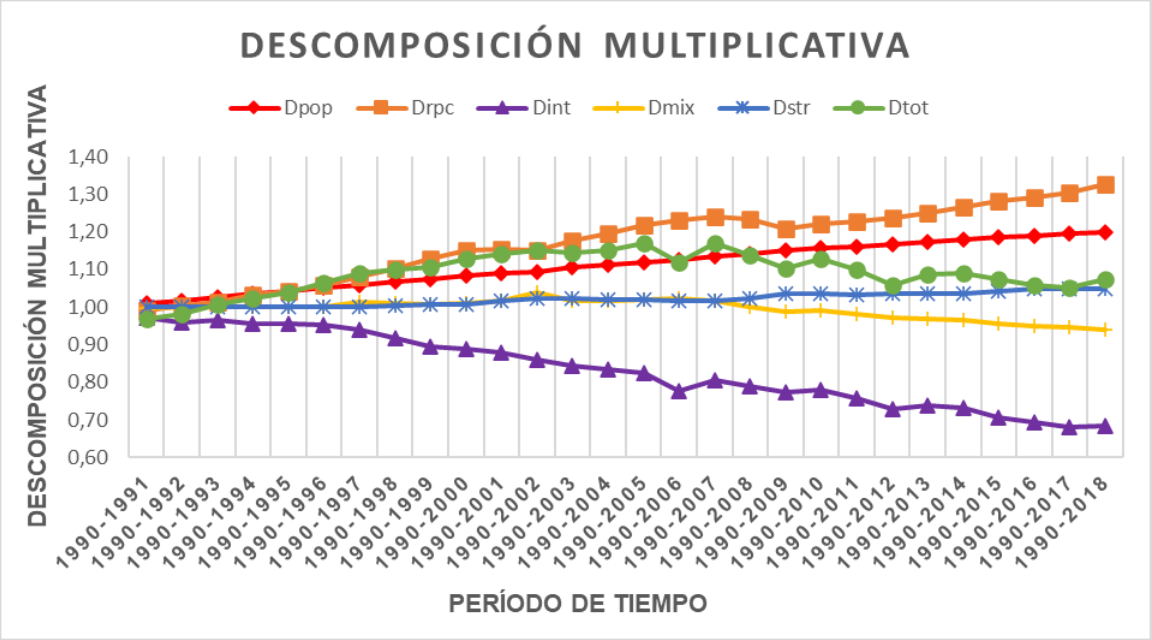

Figura 12. Gráfico para la descomposición multiplicativa LMDI para las variaciones de emisiones de CO_2 en el Sector Económico 3 de Estados Unidos en serie anual desde 1990 a 2018. Obtenido de la Tabla XI.

Tanto la población como el PIB per-cápita presentan un crecimiento constante a lo largo del tiempo. Esto sugiere que, con el aumento de la población y del ingreso per cápita, el consumo de bienes y servicios, en consecuencia, las emisiones de CO_2 en este sector, han aumentado.

El factor de intensidad energética muestra una clara disminución continua durante todo el periodo. Esto significa que, a pesar del aumento de la actividad económica y el consumo de servicios, este sector ha logrado mejorar su eficiencia energética. En otras palabras, se necesita menos energía por unidad de producción en comparación con los niveles anteriores. Este resultado puede estar asociado con la adopción de tecnologías más eficientes. Los factores mix de combustibles y estructura se han mantenido estables en el tiempo lo que sugiere que en estos no han existido grandes cambios al largo del período estudiado.

CONCLUSIONES

La presente investigación ha aplicado la metodología de descomposición Logarítmica del Índice Divisia (LMDI) tanto en su forma aditiva como multiplicativa para analizar las emisiones de dióxido de carbono (CO_2) en Estados Unidos entre los años 1990 y 2018. Este estudio ha permitido identificar los factores más influyentes en el aumento o disminución de las emisiones, proporcionando una comprensión integral de las dinámicas que afectan al balance de carbono en el país. A través del análisis, se han descompuesto los efectos de la población, el PIB per cápita, la intensidad energética y el mix de combustibles, lo que ha permitido establecer una clara relación entre el crecimiento económico, el consumo energético y las emisiones de CO_2.

Evolución de las emisiones de CO_2

Durante el período de estudio, se observó un aumento neto de las emisiones de CO_2 en Estados Unidos, impulsado principalmente por el crecimiento de la población y el PIB per cápita. Estos dos factores mostraron una correlación positiva significativa con el incremento de las emisiones, lo que refleja la estrecha relación entre el desarrollo económico y el uso de combustibles fósiles como fuente primaria de energía. El crecimiento del PIB per cápita se destacó como el factor más influyente, representando una contribución notable al aumento de las emisiones totales de CO_2, lo que sugiere que los avances económicos no han ido acompañados de una reducción proporcional en la intensidad de carbono.

Factores reductores de las emisiones: Intensidad energética y mix de combustibles

Por otro lado, tanto la intensidad energética como el mix de combustibles mostraron efectos reductores en las emisiones de CO_2. La mejora en la eficiencia energética, reflejada en la disminución de la intensidad energética, fue uno de los factores clave que contribuyó a mitigar el aumento de las emisiones. Esto indica que la adopción de tecnologías más eficientes en el uso de la energía ha tenido un impacto positivo en la reducción de las emisiones, aunque no lo suficientemente significativo como para contrarrestar por completo los efectos incrementales del crecimiento económico.

Asimismo, el cambio en el mix de combustibles, caracterizado por una mayor adopción de fuentes de energía más limpias y renovables, ha jugado un papel relevante en la reducción de las emisiones. Sin embargo, el impacto de este factor fue menor en comparación con el de la intensidad energética, lo que sugiere que, aunque se ha avanzado en la transición hacia un sistema energético más limpio, aún persiste una alta dependencia de los combustibles fósiles.

Análisis sectorial

El análisis desglosado por sectores económicos reveló diferencias significativas en la contribución de cada sector a las emisiones de CO_2. El sector industrial, por ejemplo, mostró una tendencia a la reducción de las emisiones a lo largo del tiempo, atribuible en gran medida a las mejoras en la eficiencia energética y los cambios en el mix de combustibles. En contraste, el sector agrícola, aunque con una menor contribución total a las emisiones, mostró un aumento constante en sus emisiones de CO_2, lo que pone de manifiesto la necesidad de implementar políticas más efectivas en este sector para promover el uso de fuentes de energía más limpias y tecnologías más eficientes.

Implicaciones políticas y sociales

Los resultados de este estudio tienen implicaciones importantes para la formulación de políticas climáticas en Estados Unidos. Si bien se han logrado avances en la mejora de la eficiencia energética y la adopción de fuentes de energía más limpias, el crecimiento económico y el aumento de la población continúan siendo los principales impulsores del incremento en las emisiones de CO_2. Esto pone de manifiesto la necesidad de redoblar los esfuerzos en la implementación de políticas que promuevan un crecimiento económico sostenible, desacoplado del uso intensivo de combustibles fósiles.

La transición hacia una matriz energética más limpia y eficiente debe acelerarse, no solo para cumplir con los compromisos internacionales en materia de cambio climático, sino también para mitigar los riesgos asociados con los impactos del calentamiento global. Esto requiere una combinación de políticas que incluyan incentivos para la inversión en energías renovables, la mejora de la infraestructura energética, y la promoción de cambios en los patrones de consumo tanto a nivel industrial como doméstico.

Limitaciones y recomendaciones para futuras investigaciones

Aunque el presente estudio ha proporcionado una visión detallada de los factores que influyen en las emisiones de CO_2 en Estados Unidos, es importante señalar algunas limitaciones. En primer lugar, el análisis se ha centrado en datos históricos hasta el año 2018, lo que excluye los posibles cambios en las tendencias de emisiones que hayan ocurrido en años posteriores, especialmente en respuesta a las políticas implementadas a raíz del Acuerdo de París. Asimismo, el análisis no incluye factores emergentes como el impacto de las nuevas tecnologías disruptivas (por ejemplo, la electrificación del transporte o el uso de hidrógeno verde), que podrían tener un efecto considerable en la reducción de las emisiones en el futuro.

Para investigaciones futuras, sería recomendable ampliar el análisis a períodos más recientes e incluir una evaluación de las políticas implementadas durante los últimos años. Además, un enfoque más detallado a nivel regional podría proporcionar información valiosa sobre las diferencias en la adopción de tecnologías limpias y la implementación de políticas de mitigación entre los distintos estados de EE. UU.

BIBLIOGRAFÍA

Agencia Internacional de Energía. (2021). World Energy Outlook 2021. Disponible en https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2021

Allen, M. R., Dube, O. P., Solecki, W., Aragón-Durand, F., Cramer, W., Humphreys, S., Kainuma, M., Kala, J., Mahowald, N., Mulugetta, Y., Perez, R., Wairiu, M., & Zickfeld, K. (2018). Framing and context. En V. Masson-Delmotte, P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P. R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J. B. R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M. I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, & T. Waterfield (Eds.), Global warming of 1.5°C. An IPCC special report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty (pp. 49–92). Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/9781009157940.003.

Ang, B. W. (2004). Decomposition analysis for policymaking in energy: Which is the preferred method? Energy Policy, 32(9), 1131–1139.

Ang, B. W. (2005). The LMDI approach to decomposition analysis: A practical guide. Energy Policy, 33, 867–871.

Banco Mundial. (2022). World Development Indicators. Banco Mundial. Recuperado de https://data.worldbank.org/indicator

Cansino, J. M., Sánchez-Braza, A., & Rodríguez-Arévalo, M. L. (2015). Driving forces of Spain's CO_2 emissions: A LMDI decomposition approach. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 48, 749–759.

Center for Climate and Energy Solutions. (n.d.). History of UN climate talks. C2ES. Recuperado el 1 de septiembre de 2024, de https://www.c2es.org/document/history-of-un-climate-talks/

Chen, L., Yang, Z., & Chen, B. (2013). Decomposition analysis of energy-related industrial CO_2 emissions in China. Energies, 6, 2319–2337.

Choi, K. H., & Ang, B. W. (2012). Attribution of changes in Divisia real energy intensity index — An extension to index decomposition analysis. Energy Economics, 34, 171–176.

Colinet-Carmona, M. J., & Román-Collado, R. (2016). LMDI decomposition analysis of energy consumption in Andalusia (Spain) during 2003–2012: The energy efficiency policy implications. Energy Efficiency, 9, 807–823.

Council on Foreign Relations. (n.d.). Timeline: UN climate talks. CFR. Recuperado el 1 de septiembre de 2024, de https://www.cfr.org/timeline/un-climate-talks

Fernández González, P. (2012). Técnicas de descomposición basadas en índices tipo Divisia [Tesis doctoral, Universidad de Oviedo]. Recuperado de http://absysweb.cpd.uniovi.es/cgi-in/abnetopac/O7195/ID1ce0839a?ACC=161 [Último acceso: Agosto 2024].

Fernández González, P., Landajo, M., & Presno, M. (2014). The driving forces behind changes in CO_2 emission levels in EU-27. Differences between member states. Energy, 38, 11-16.

Fernández-González, P., Landajo, M., & Presno, M. J. (2014). Tracking European Union CO_2 emissions through LMDI (logarithmic-logarithmic mean Divisia index) decomposition: The activity revaluation approach. Energy, 73, 741-750.

Hatzigeorgiou, E., Polatidis, H., & Haralambopoulos, D. (2008). CO_2 emissions in Greece for 1990–2002: A decomposition analysis and comparison of results using the Arithmetic Mean Divisia Index and Logarithmic Mean Divisia Index techniques. Energy, 33, 492–499.

History.com Editors. (n.d.). Kyoto Protocol first adopted in Japan. HISTORY. Recuperado el 1 de septiembre de 2024, de https://www.history.com/this-day-in-history/kyoto-protocol-adopted

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. Cambridge University Press.

IPCC. (2021). Climate change 2021: The physical science basis. Contribution of working group I to the sixth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press.

IPCC. (2023). Synthesis report of the IPCC sixth assessment report (AR6). Recuperado de https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/

Lise, W. (2006). Decomposition of CO_2 emissions over 1980–2003 in Turkey. Energy Policy, 34, 1841–1852.

Liu, L.-C., Fan, Y., Wu, G., & Wei, Y.-M. (2007). Using LMDI method to analyze the change of China's industrial CO_2 emissions from final fuel use: An empirical analysis. Energy Policy, 35, 5892–5900.

Naciones Unidas. (1945). Carta de las Naciones Unidas. Disponible en https://www.un.org/es/about-us/un-charter/full-text

Naciones Unidas. (1948). Declaración Universal de Derechos Humanos. Disponible en https://www.un.org/es/about-us/universal-declaration-of-human-rights

Naciones Unidas. (1992). Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo. Disponible en https://www.un.org/spanish/esa/sustdev/documents/declaracionrio.htm

Naciones Unidas. (1997). Protocolo de Kioto a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Adoptado en la Tercera Conferencia de las Partes, Kioto, Japón, el 11 de diciembre de 1997. Disponible en https://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpeng.pdf

Naciones Unidas. (2002). Cumbre Mundial sobre el Desarrollo Sostenible. Disponible en https://www.un.org/spanish/conferences/wssd/

Naciones Unidas. (2015). Acuerdo de París. Adoptado en la Vigésima Primera Conferencia de las Partes, París, Francia, el 12 de diciembre de 2015. Disponible en https://unfccc.int/sites/default/files/english_paris_agreement.pdf

Naciones Unidas. (2015). Objetivo 7: Energía asequible y no contaminante. En Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. Disponible en https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/energy/

Naciones Unidas. (2015). Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. Resolución adoptada por la Asamblea General el 25 de septiembre de 2015. Disponible en https://www.un.org/es/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/RES/70/1&Lang=S

Naciones Unidas. (2015). Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. Resolución adoptada por la Asamblea General el 25 de septiembre de 2015. Disponible en https://www.un.org/es/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/RES/70/1&Lang=S

Naciones Unidas. (2021). Informe sobre los progresos de los ODS. Disponible en https://unstats.un.org/sdgs/report/2021/

NASA. (2023). Climate change: How do we know? NASA climate change: Vital signs of the planet. Recuperado de https://climate.nasa.gov/evidence/

NASA. (2023). The greenhouse effect. NASA climate change: Vital signs of the planet. Recuperado de https://climate.nasa.gov/causes/

Padilla, E., & Serrano, A. (2006). Inequality in CO_2 emissions across countries and its relationship with income inequality: A distributive approach. Energy Policy, 34, 1762–1772.

Robalino López, A. (2014). Carbon emissions, energy consumption and sustainable development in Ecuador (1980-2025): System dynamics modelling, decomposition analysis and the Environmental Kuznets Curve [Tesis doctoral, Universidad de Huelva]. Recuperado de http://columbus.uhu.es/search*spi/X?(tesis%20universidad%20huelva)&searchscope [Último acceso: Septiembre 2024].

Robalino López, A., García Ramos, E., Mena Nieto, A., & Antonio A., G. (2014). System dynamics modelling and the Environmental Kuznets Curve in Ecuador (1980-2025). Energy for Sustainable Development, 67, 923–931.

Statista. (2022). Distribution of gross domestic product (GDP) across economic sectors in the United States in 2022. Recuperado de https://www.statista.com/statistics/270001/distribution-of-gross-domestic-product-gdp-across-economic-sectors-in-the-us/

Weart, S. R. (2003). The discovery of global warming. Harvard University Press.

Xu, S.-C., He, Z.-X., & Long, R.-Y. (2014). Factors that influence carbon emissions due to energy consumption in China: Decomposition analysis using LMDI. Applied Energy, 117, 182–193.gen scavenger material. *Food Chemistry, 82*(3), 387-395.

ANEXOS

Datos de población

Tabla XII. Población de los Estados Unidos desde 1990 a 2018 Fuente: Banco Mundial

Año	Población
1990	249623000
1991	252981000
1992	256514000
1993	259919000
1994	263126000
1995	266278000
1996	269394000
1997	272657000
1998	275854000
1999	279040000
2000	282162141
2001	284968955
2002	287625193
2003	290107933
2004	292805298
2005	295516599
2006	298379912
2007	301231207
2008	304093966
2009	306771529
2010	309327143
2011	311583481
2012	313877662
2013	316059947
2014	318386329
2015	320738994
2016	323071755
2017	325122128
2018	326838199

PIB per-cápita

Tabla XII. PIB per-cápita de los Estados Unidos desde 1990 a 2018 Fuente: Elaboración Propia

Año	q [US$ (2010) / hab]
1990	39303,48901
1991	38739,79832
1992	39552,02188
1993	40108,00804
1994	41215,34293
1995	41820,68019
1996	42896,41648
1997	44267,90588
1998	45715,69265
1999	47360,53642
2000	48746,0876
2001	48726,58167
2002	49095,3318
2003	50036,23423
2004	51485,20741
2005	52789,73142
2006	53738,09173
2007	54299,61724
2008	53854,16061
2009	51996,1835
2010	52963,46417
2011	53394,86184
2012	54213,45955
2013	54830,78407
2014	55675,38685
2015	56762,72945
2016	57292,53878
2017	58207,57831
2018	59607,39366

Consumo de energía

Tabla XIII. Consumo energético por sectores económicos en Estados Unidos desde 1990 a 2018

Año	S1	S2	S3
	Agricultura	Industria	Residencial, Transporte, Comercio y Servicio Público
1990	14405	408107,397	1108156,4
1991	14371	416557,338	1114080,7
1992	15681	418448,982	1132331,4
1993	14919	418353,383	1182432,7
1994	15207	430393,264	1207780,6
1995	15203	420842,534	1241037,9
1996	15587	424518,563	1279724,2
1997	15768	447723,027	1308766,1
1998	14500	454426,617	1330480,4
1999	13312	470521,329	1356489,5
2000	14104	502008,223	1403144,4
2001	15498	488490,642	1437126,1
2002	26328,8	397234,688	1406334,1
2003	24895,534	398233,257	1425069,3
2004	27867,273	408671,607	1434707,9
2005	27785,369	396984,743	1456314,4
2006	28744,587	380351,906	1361329,6
2007	28419,215	406692,982	1478249,6
2008	27172,386	393471,03	1439130,3
2009	26227,068	345800,731	1391410,2
2010	26855,252	373016,226	1434774,6
2011	25046,858	365325,966	1397409,7
2012	23198,353	365317,602	1346516,3
2013	24344,834	365029,644	1405136,3
2014	23107,693	361898,32	1417423,5
2015	25306,449	355782,808	1409885,6
2016	25173,585	354887,86	1404200,2
2017	26180,913	346566,028	1391944,9
2018	26228,489	358750,701	1446055

Intensidad Energética

Tabla XIV. Intensidad energética por sectores económicos de los Estados Unidos desde 1990 a 2018

Años	Intensidad energética	S1	S2	S3
1990	0,00000002308	0,00000172643	0,00000009978	0,00000003056
1991	0,00000002433	0,00000181975	0,00000010517	0,00000003221
1992	0,00000002352	0,00000175943	0,00000010169	0,00000003114
1993	0,00000002370	0,00000177251	0,00000010244	0,00000003137
1994	0,00000002344	0,00000175322	0,00000010133	0,00000003103
1995	0,00000002349	0,00000175690	0,00000010154	0,00000003110
1996	0,00000002327	0,00000174090	0,00000010061	0,00000003081
1997	0,00000002261	0,00000169139	0,00000009775	0,00000002994
1998	0,00000002237	0,00000184292	0,00000009869	0,00000002939
1999	0,00000002193	0,00000190462	0,00000009723	0,00000002874
2000	0,00000002188	0,00000190158	0,00000009743	0,00000002864
2001	0,00000002140	0,00000189504	0,00000009966	0,00000002765
2002	0,00000002165	0,00000223108	0,00000010489	0,00000002762
2003	0,00000002124	0,00000190411	0,00000010239	0,00000002717
2004	0,00000002074	0,00000164771	0,00000009894	0,00000002666
2005	0,00000002057	0,00000180058	0,00000009691	0,00000002649
2006	0,00000002010	0,00000200885	0,00000009309	0,00000002597
2007	0,00000002023	0,00000189671	0,00000009435	0,00000002611
2008	0,00000002011	0,00000188661	0,00000009639	0,00000002575
2009	0,00000001965	0,00000202845	0,00000010167	0,00000002465
2010	0,00000001988	0,00000190724	0,00000010272	0,00000002498
2011	0,00000001953	0,00000160570	0,00000010060	0,00000002461
2012	0,00000001883	0,00000162505	0,00000009831	0,00000002363
2013	0,00000001869	0,00000140181	0,00000009707	0,00000002354
2014	0,00000001838	0,00000154620	0,00000009524	0,00000002311
2015	0,00000001786	0,00000171274	0,00000009640	0,00000002220
2016	0,00000001769	0,00000188093	0,00000009852	0,00000002181
2017	1,69843E-08	0,00000185321	0,00000009328	0,00000002100
2018	1,72167E-08	0,00000187857	0,00000009456	0,00000002129

Mix de combustibles

Tabla XV. Mix de combustibles en el sector económico 1 de los Estados Unidos desde 1990 a 2018.

Año	M0101	M0102	M0103	M0104	M0105	M0106	M0107	M0108	M0109	M0110	M0111	M0112	M0113
1990	0,0000	0,0000	0,0000	0,0338	0,1181	0,0000	0	0,848	0	0	0	0	0
1991	0,0000	0,0000	0,0000	0,0383	0,0401	0,0000	0	0,9215	0	0	0	0	0
1992	0,0000	0,0000	0,0000	0,0319	0,0051	0,0000	0	0,963	0	0	0	0	0
1993	0,0000	0,0000	0,0000	0,0284	0,0073	0,0000	0	0,9643	0	0	0	0	0
1994	0,0000	0,0000	0,0000	0,0270	0,0100	0,0000	0	0,963	0	0	0	0	0
1995	0,0000	0,0000	0,0000	0,0285	0,0318	0,0000	0	0,9397	0	0	0	0	0
1996	0,0000	0,0000	0,0000	0,0246	0,0357	0,0000	0	0,9397	0	0	0	0	0
1997	0,0000	0,0000	0,0000	0,0248	0,0325	0,0000	0	0,9427	0	0	0	0	0
1998	0,0000	0,0000	0,0000	0,0249	0,0393	0,0000	0	0,9358	0	0	0	0	0
1999	0,0000	0,0000	0,0000	0,0265	0,0309	0,0000	0	0,9426	0	0	0	0	0
2000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0311	0,0336	0,0000	0	0,9353	0	0	0	0	0
2001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0250	0,0511	0,0000	0	0,9239	0	0	0	0	0
2002	0,0000	0,0000	0,0000	0,0245	0,0392	0,0000	0	0,9363	0	0	0	0	0
2003	0,0000	0,0000	0,0000	0,0254	0,0464	0,0000	0	0,9281	0	0	0	0	0
2004	0,0383	0,0000	0,0000	0,0254	0,0403	0,0000	0	0,896	0	0	0	0	0
2005	0,0365	0,0000	0,0000	0,0232	0,0192	0,0000	0	0,9211	0	0	0	0	0

Tabla XV. Mix de combustibles en el sector económico 1 de los Estados Unidos desde 1990 a 2018. **Continuación**

Año	M0101	M0102	M0103	M0104	M0105	M0106	M0107	M0108	M0109	M0110	M0111	M0112	M0113
2006	0,0344	0,0000	0,0000	0,0223	0,0280	0,0000	0	0,9153	0	0	0	0	0
2007	0,0315	0,0000	0,0000	0,0205	0,0395	0,0000	0	0,9084	0	0	0	0	0
2008	0,0324	0,0000	0,0000	0,0202	0,0248	0,0000	0	0,9226	0	0	0	0	0
2009	0,0363	0,0000	0,0000	0,0202	0,0133	0,0000	0	0,9302	0	0	0	0	0
2010	0,0332	0,0000	0,0000	0,0295	0,0084	0,0000	0	0,9289	0	0	0	0	0
2011	0,0321	0,0000	0,0000	0,0227	0,0266	0,0000	0	0,9185	0	0	0	0	0
2012	0,0340	0,0000	0,0000	0,0256	0,0312	0,0000	0	0,9092	0	0	0	0	0
2013	0,0306	0,0000	0,0000	0,0235	0,0256	0,0000	0	0,9203	0	0	0	0	0
2014	0,0336	0,0000	0,0000	0,0246	0,0281	0,0000	0	0,9137	0	0	0	0	0
2015	0,0325	0,0000	0,0000	0,0236	0,0296	0,0000	0	0,9143	0	0	0	0	0
2016	0,0332	0,0000	0,0000	0,0244	0,0142	0,0000	0	0,9282	0	0	0	0	0
2017	0,0326	0,0000	0,0000	0,0226	0,0036	0,0000	0	0,9412	0	0	0	0	0
2018	0,0366	0,0000	0,0000	0,0238	0,0078	0,0000	0	0,9319	0	0	0	0	0

Tabla XVI. Mix de combustibles en el sector económico 2 de los Estados Unidos desde 1990 a 2018.

Año	M0201	M0202	M0203	M0204	M0205	M0206	M02107	M0208	M0209	M0210	M0211	M0212	M0213
1990	0,4414	1,0722	0,0032	0,0181	0,2266	0,0000	0,0000	0,0667	0,0345	0,0208	0,0034	0,0112	0,1019
1991	0,4149	1,1035	0,0028	0,0200	0,1850	0,0000	0,0000	0,0722	0,0451	0,0164	0,0027	0,0068	0,1305
1992	0,4345	1,1477	0,0024	0,0227	0,1472	0,0000	0,0000	0,0582	0,0528	0,0132	0,0020	0,0038	0,1155
1993	0,4744	1,1769	0,0034	0,0234	0,1312	0,0000	0,0000	0,0480	0,0234	0,0000	0,0019	0,0059	0,1115
1994	0,5088	1,2046	0,0025	0,0300	0,0945	0,0000	0,0000	0,0429	0,0423	0,0000	0,0035	0,0097	0,0612
1995	0,4884	1,2526	0,0024	0,0231	0,0897	0,0000	0,0000	0,0373	0,0357	0,0000	0,0025	0,0114	0,0567
1996	0,4268	1,3111	0,0021	0,0231	0,1091	0,0000	0,0000	0,0378	0,0234	0,0000	0,0027	0,0113	0,0526
1997	0,4793	1,2976	0,0025	0,0186	0,0845	0,0000	0,0000	0,0309	0,0185	0,0000	0,0032	0,0110	0,0538
1998	0,4596	1,2843	0,0022	0,0188	0,1186	0,0000	0,0000	0,0326	0,0200	0,0000	0,0044	0,0093	0,0502
1999	0,3892	1,3573	0,0030	0,0209	0,1030	0,0000	0,0000	0,0323	0,0245	0,0000	0,0037	0,0055	0,0607
2000	0,4128	1,3600	0,0029	0,0215	0,0879	0,0000	0,0000	0,0283	0,0234	0,0000	0,0032	0,0052	0,0548
2001	0,5275	1,3165	0,0037	0,0215	0,0414	0,0000	0,0000	0,0180	0,0095	0,0000	0,0062	0,0080	0,0478
2002	0,5132	1,3475	0,0038	0,0206	0,0315	0,0000	0,0000	0,0178	0,0032	0,0000	0,0068	0,0097	0,0458
2003	0,5006	1,3661	0,0050	0,0205	0,0391	0,0000	0,0000	0,0168	0,0033	0,0000	0,0049	0,0092	0,0345
2004	0,4332	1,3898	0,0042	0,0226	0,0793	0,0000	0,0000	0,0198	0,0118	0,0000	0,0010	0,0087	0,0296
2005	0,4292	1,4006	0,0043	0,0207	0,0796	0,0000	0,0000	0,0183	0,0188	0,0000	0,0007	0,0058	0,0222
2006	0,4314	1,3836	0,0054	0,0196	0,0977	0,0000	0,0000	0,0239	0,0158	0,0000	0,0009	0,0077	0,0141

Tabla XVI. Mix de combustibles en el sector económico 2 de los Estados Unidos desde 1990 a 2018. **Continuación.**

Año	M0201	M0202	M0203	M0204	M0205	M0206	M02107	M0208	M0209	M0210	M0211	M0212	M0213
2007	0,3769	1,3885	0,0040	0,0203	0,1207	0,0000	0,0000	0,0508	0,0187	0,0000	0,0008	0,0075	0,0119
2008	0,3662	1,3929	0,0043	0,0199	0,1248	0,0000	0,0000	0,0496	0,0208	0,0000	0,0008	0,0075	0,0130
2009	0,3983	1,3996	0,0044	0,0198	0,0829	0,0000	0,0000	0,0552	0,0189	0,0000	0,0004	0,0067	0,0138
2010	0,3755	1,3580	0,0041	0,0315	0,1064	0,0000	0,0000	0,0824	0,0207	0,0000	0,0004	0,0060	0,0150
2011	0,3345	1,3738	0,0035	0,0231	0,1277	0,0000	0,0000	0,0925	0,0242	0,0000	0,0004	0,0061	0,0142
2012	0,3231	1,3847	0,0032	0,0265	0,1367	0,0000	0,0000	0,0830	0,0223	0,0000	0,0004	0,0057	0,0144
2013	0,3240	1,4167	0,0033	0,0253	0,1103	0,0000	0,0000	0,0796	0,0199	0,0000	0,0004	0,0054	0,0150
2014	0,3079	1,4099	0,0021	0,0235	0,1318	0,0000	0,0000	0,0785	0,0234	0,0000	0,0004	0,0058	0,0166
2015	0,3181	1,3943	0,0029	0,0227	0,1328	0,0000	0,0000	0,0886	0,0210	0,0000	0,0004	0,0052	0,0140
2016	0,3148	1,4176	0,0019	0,0244	0,1132	0,0000	0,0000	0,0929	0,0184	0,0000	0,0004	0,0053	0,0111
2017	0,3284	1,4867	0,0022	0,0236	0,0573	0,0000	0,0000	0,0632	0,0172	0,0000	0,0004	0,0060	0,0150
2018	0,3502	1,5061	0,0023	0,0210	0,0331	0,0000	0,0000	0,0448	0,0202	0,0000	0,0005	0,0062	0,0156

Tabla XVII. Mix de combustibles en el sector económico 3 de los Estados Unidos desde 1990 a 2018.

Año	M0301	M0302	M0303	M0304	M0305	M0306	M03107	M0308	M0309	M0310	M0311	M0312	M0313
1990	0,1148	2,0333	0,0000	0,2820	0,1990	0,4211	0,1279	0,6811	0,0240	0,0208	0,0000	0,0000	0,0960
1991	0,1289	2,0726	0,0000	0,2929	0,0693	0,4903	0,1077	0,6666	0,0296	0,0164	0,0000	0,0000	0,1257
1992	0,1657	2,1745	0,0000	0,2864	0,0112	0,4281	0,1010	0,6701	0,0391	0,0132	0,0000	0,0000	0,1108
1993	0,1861	2,3246	0,0000	0,2556	0,0185	0,4062	0,0840	0,6083	0,0070	0,0000	0,0000	0,0000	0,1098
1994	0,1828	2,3432	0,0000	0,2767	0,0274	0,4067	0,0831	0,6183	0,0028	0,0000	0,0000	0,0000	0,0590
1995	0,2039	2,2985	0,0000	0,2681	0,0832	0,4021	0,0844	0,6022	0,0041	0,0000	0,0000	0,0000	0,0536
1996	0,1974	2,2710	0,0000	0,2640	0,1084	0,4217	0,0800	0,6098	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0478
1997	0,1790	2,3059	0,0000	0,2756	0,0968	0,3790	0,0712	0,6399	0,0011	0,0000	0,0000	0,0000	0,0515
1998	0,1892	2,2815	0,0000	0,2857	0,1168	0,3780	0,0653	0,6344	0,0018	0,0000	0,0000	0,0000	0,0472
1999	0,2141	2,3174	0,0000	0,2776	0,0905	0,3404	0,0523	0,6479	0,0040	0,0000	0,0000	0,0000	0,0559
2000	0,2027	2,3787	0,0000	0,2843	0,0867	0,3323	0,0490	0,6135	0,0048	0,0000	0,0000	0,0000	0,0481
2001	0,2263	2,4179	0,0000	0,2923	0,0908	0,2889	0,0481	0,5946	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0411
2002	0,2141	2,5108	0,0000	0,2715	0,0674	0,2627	0,0414	0,5972	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0350
2003	0,2258	2,5348	0,0000	0,2804	0,0780	0,2218	0,0401	0,5952	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0239
2004	0,2117	2,5534	0,0000	0,3010	0,0726	0,2096	0,0394	0,5964	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0159
2005	0,2188	2,6070	0,0000	0,2793	0,0356	0,1889	0,0380	0,6248	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0075
2006	0,2207	2,5668	0,0000	0,2835	0,0536	0,2223	0,0337	0,6193	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

Tabla XVII. Mix de combustibles en el sector económico 3 de los Estados Unidos desde 1990 a 2018. **Continuación.**

Año	M0301	M0302	M0303	M0304	M0305	M0306	M03107	M0308	M0309	M0310	M0311	M0312	M0313
2007	0,2028	2,5662	0,0000	0,2523	0,0779	0,2459	0,0319	0,6201	0,0027	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2008	0,2157	2,5646	0,0000	0,2526	0,0487	0,2974	0,0313	0,5888	0,0008	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2009	0,2209	2,6179	0,0000	0,2298	0,0245	0,2997	0,0335	0,5730	0,0007	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2010	0,2044	2,5173	0,0000	0,3346	0,0162	0,3167	0,0378	0,5716	0,0013	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2011	0,2085	2,5507	0,0000	0,2631	0,0514	0,3333	0,0354	0,5565	0,0012	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2012	0,1949	2,5609	0,0000	0,2713	0,0573	0,3579	0,0341	0,5227	0,0009	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2013	0,1904	2,5579	0,0000	0,2665	0,0503	0,3540	0,0318	0,5483	0,0008	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2014	0,2058	2,5681	0,0000	0,2601	0,0503	0,3628	0,0329	0,5193	0,0007	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2015	0,1940	2,5784	0,0000	0,2553	0,0539	0,3742	0,0315	0,5122	0,0005	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2016	0,2149	2,5336	0,0000	0,2795	0,0289	0,3844	0,0324	0,5233	0,0030	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2017	0,2193	2,5580	0,0000	0,2590	0,0070	0,4042	0,0331	0,5163	0,0031	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2018	0,3169	2,5559	0,0000	0,2453	0,0133	0,3693	0,0356	0,4584	0,0052	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

Factor de emisión

Tabla XVIII. Factor de emisión.

j	FE [tCO_2/tep]	
1	Energías renovables	0,0
2	Coal	4,511
3	Biofuel	2,93
4	Productos del petróleo	2,978
5	Gas natural	2,106
6	Nuclear	0,000001
7	Hidro	0,000001
8	Geotermal	0,000001
9	Biofuel	0,000001
10	otros	4,1876

Resultados

Tabla XIX. Tabla para la descomposición aditiva LMDI para las variaciones de emisiones de CO_2 en Estados Unidos en serie anual desde 1990 a 2018.

Tiempo	Cpop	Crpc	Cint	Cmix	Ctot
1990-1991	5,73E+04	-6,20E+04	4,46E+04	-3,29E+04	7,03E+03
1990-1992	1,17E+05	2,72E+04	-4,48E+04	-4,61E+04	5,37E+04
1990-1993	1,77E+05	8,86E+04	-2,88E+04	-6,63E+04	1,70E+05
1990-1994	2,32E+05	2,10E+05	-1,02E+05	-8,48E+04	2,56E+05
1990-1995	2,86E+05	2,75E+05	-1,55E+05	-1,16E+05	2,90E+05
1990-1996	3,43E+05	3,93E+05	-2,11E+05	-9,51E+04	4,30E+05
1990-1997	4,06E+05	5,47E+05	-2,78E+05	-2,43E+04	6,51E+05
1990-1998	4,62E+05	6,99E+05	-4,12E+05	-4,83E+04	7,01E+05
1990-1999	5,16E+05	8,64E+05	-5,25E+05	-1,41E+05	7,14E+05
1990-2000	5,80E+05	1,02E+06	-5,28E+05	-1,41E+05	9,31E+05
1990-2001	6,34E+05	1,03E+06	-5,24E+05	-8,64E+04	1,05E+06
1990-2002	6,52E+05	1,02E+06	-8,48E+05	-1,32E+05	6,95E+05
1990-2003	6,96E+05	1,12E+06	-9,36E+05	-1,18E+05	7,61E+05
1990-2004	7,43E+05	1,26E+06	-1,06E+06	-1,31E+05	8,09E+05
1990-2005	7,88E+05	1,38E+06	-1,20E+06	-1,32E+05	8,37E+05
1990-2006	8,09E+05	1,42E+06	-1,56E+06	-1,08E+05	5,57E+05
1990-2007	8,80E+05	1,51E+06	-1,34E+06	-1,85E+05	8,67E+05
1990-2008	9,06E+05	1,45E+06	-1,45E+06	-2,23E+05	6,77E+05
1990-2009	9,09E+05	1,23E+06	-1,51E+06	-3,20E+05	3,14E+05
1990-2010	9,68E+05	1,35E+06	-1,49E+06	-3,07E+05	5,19E+05
1990-2011	9,78E+05	1,35E+06	-1,63E+06	-3,80E+05	3,16E+05
1990-2012	9,83E+05	1,38E+06	-1,81E+06	-4,77E+05	7,28E+04
1990-2013	1,03E+06	1,45E+06	-1,78E+06	-4,88E+05	2,19E+05
1990-2014	1,06E+06	1,52E+06	-1,85E+06	-5,10E+05	2,17E+05
1990-2015	1,08E+06	1,58E+06	-1,96E+06	-5,97E+05	9,43E+04
1990-2016	1,09E+06	1,60E+06	-2,02E+06	-6,59E+05	1,07E+04
1990-2017	1,11E+06	1,65E+06	-2,14E+06	-6,78E+05	-5,97E+04
1990-2018	1,14E+06	1,77E+06	-2,13E+06	-7,43E+05	4,07E+04

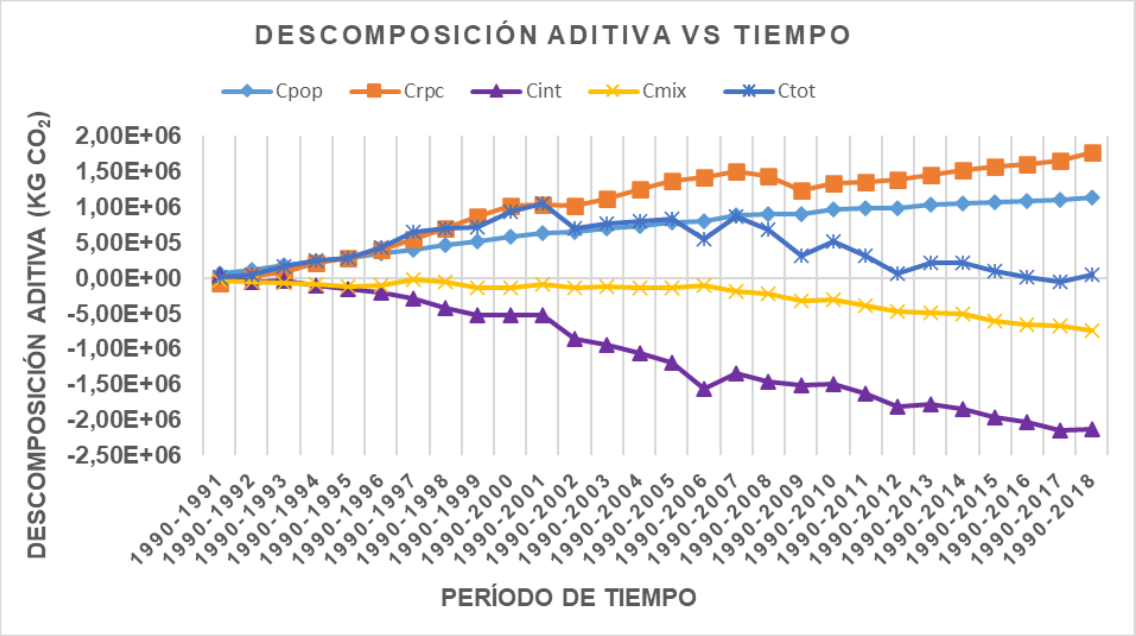

Figura 13. Gráfico para la descomposición aditiva LMDI para las variaciones de emisiones de CO_2 en Estados Unidos en serie anual desde 1990 a 2018. Obtenido de la Tabla XIX.

Tabla XX. Tabla para la descomposición aditiva LMDI para las variaciones de emisiones de CO_2 en Estados Unidos en serie anual desde 1990 a 2018

Tiempo	Dpop	Drpc	Dint	Dmix	Dtot
1990-1991	1,04	0,96	1,03	0,99	1,01
1990-1992	1,09	1,02	1,03	0,97	1,11
1990-1993	1,13	1,06	0,94	0,97	1,10
1990-1994	1,17	1,15	0,90	0,96	1,16
1990-1995	1,21	1,20	0,83	0,94	1,14
1990-1996	1,26	1,30	0,80	0,95	1,23
1990-1997	1,30	1,43	0,76	0,98	1,39
1990-1998	1,35	1,57	0,63	0,96	1,30
1990-1999	1,40	1,75	0,53	0,91	1,18
1990-2000	1,44	1,91	0,55	0,91	1,38
1990-2001	1,49	1,90	0,59	0,93	1,56
1990-2002	1,48	1,86	0,72	0,99	1,96
1990-2003	1,51	1,95	0,65	1,01	1,91
1990-2004	1,56	2,12	0,66	1,02	2,22
1990-2005	1,60	2,28	0,59	1,00	2,16
1990-2006	1,65	2,41	0,50	0,99	1,98
1990-2007	1,69	2,46	0,55	0,96	2,17
1990-2008	1,73	2,41	0,50	0,93	1,92
1990-2009	1,77	2,18	0,44	0,86	1,46
1990-2010	1,83	2,31	0,47	0,85	1,67
1990-2011	1,87	2,38	0,40	0,78	1,40
1990-2012	1,91	2,49	0,34	0,73	1,18
1990-2013	1,96	2,58	0,35	0,74	1,31
1990-2014	2,00	2,70	0,32	0,72	1,23
1990-2015	2,03	2,82	0,31	0,68	1,21
1990-2016	2,06	2,88	0,30	0,65	1,13
1990-2017	2,09	2,99	0,28	0,64	1,11
1990-2018	2,12	3,20	0,28	0,61	1,14

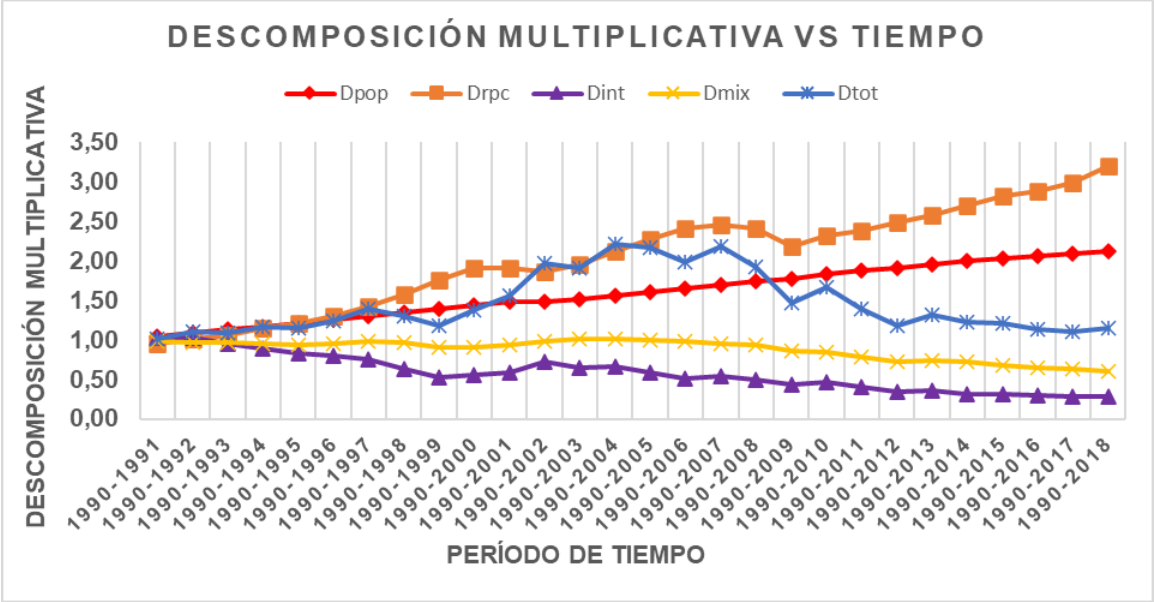

Figura 14. Gráfico para la descomposición multiplicativa LMDI para las variaciones de emisiones de CO_2 en Estados Unidos en serie anual desde 1990 a 2018. Obtenido de la Tabla XX

Tabla XXI. Gráfico para la descomposición aditiva LMDI para las variaciones de emisiones de CO_2 para el Sector Económico 1 de Estados Unidos en serie anual desde 1990 a 2018.

Tiempo	Cpop	Crpc	Cint	Cmix	Ctot
1990-1991	5,73E+02	-6,19E+02	-5,48E+01	-4,22E-08	-1,01E+02
1990-1992	1,22E+03	2,82E+02	2,30E+03	1,52E-06	3,80E+03
1990-1993	1,76E+03	8,85E+02	-1,12E+03	6,27E-07	1,53E+03
1990-1994	2,32E+03	2,09E+03	-2,03E+03	9,68E-07	2,39E+03
1990-1995	2,85E+03	2,74E+03	-3,21E+03	9,64E-07	2,38E+03
1990-1996	3,40E+03	3,90E+03	-3,79E+03	1,41E-06	3,52E+03
1990-1997	3,96E+03	5,34E+03	-5,24E+03	1,62E-06	4,06E+03
1990-1998	4,30E+03	6,50E+03	-1,05E+04	1,17E-07	2,83E+02
1990-1999	4,60E+03	7,69E+03	-1,55E+04	-1,41E-06	-3,25E+03
1990-2000	5,20E+03	9,14E+03	-1,52E+04	-3,77E-07	-8,96E+02
1990-2001	5,89E+03	9,56E+03	-1,22E+04	1,31E-06	3,25E+03
1990-2002	6,42E+03	1,01E+04	1,08E+04	4,95E+03	3,23E+04
1990-2003	6,39E+03	1,03E+04	6,61E+03	5,26E+03	2,85E+04
1990-2004	7,56E+03	1,28E+04	1,09E+04	6,66E+03	3,79E+04
1990-2005	7,98E+03	1,39E+04	9,13E+03	6,15E+03	3,72E+04
1990-2006	8,70E+03	1,53E+04	9,74E+03	5,02E+03	3,87E+04
1990-2007	8,78E+03	1,51E+04	7,87E+03	4,74E+03	3,65E+04
1990-2008	8,99E+03	1,43E+04	5,57E+03	3,73E+03	3,26E+04
1990-2009	9,05E+03	1,23E+04	4,97E+03	2,54E+03	2,88E+04
1990-2010	9,88E+03	1,37E+04	5,07E+03	7,34E+02	2,94E+04
1990-2011	9,89E+03	1,37E+04	1,12E+03	-1,49E+03	2,32E+04
1990-2012	1,00E+04	1,40E+04	-3,24E+03	-2,26E+03	1,85E+04
1990-2013	1,08E+04	1,52E+04	-2,02E+03	-1,70E+03	2,23E+04
1990-2014	1,08E+04	1,55E+04	-5,30E+03	-2,16E+03	1,89E+04
1990-2015	1,12E+04	1,64E+04	-2,44E+03	-2,28E+03	2,28E+04
1990-2016	1,12E+04	1,64E+04	-3,34E+03	-2,90E+03	2,14E+04
1990-2017	1,15E+04	1,71E+04	-2,59E+03	-2,79E+03	2,32E+04
1990-2018	1,19E+04	1,83E+04	-3,81E+03	-3,74E+03	2,26E+04

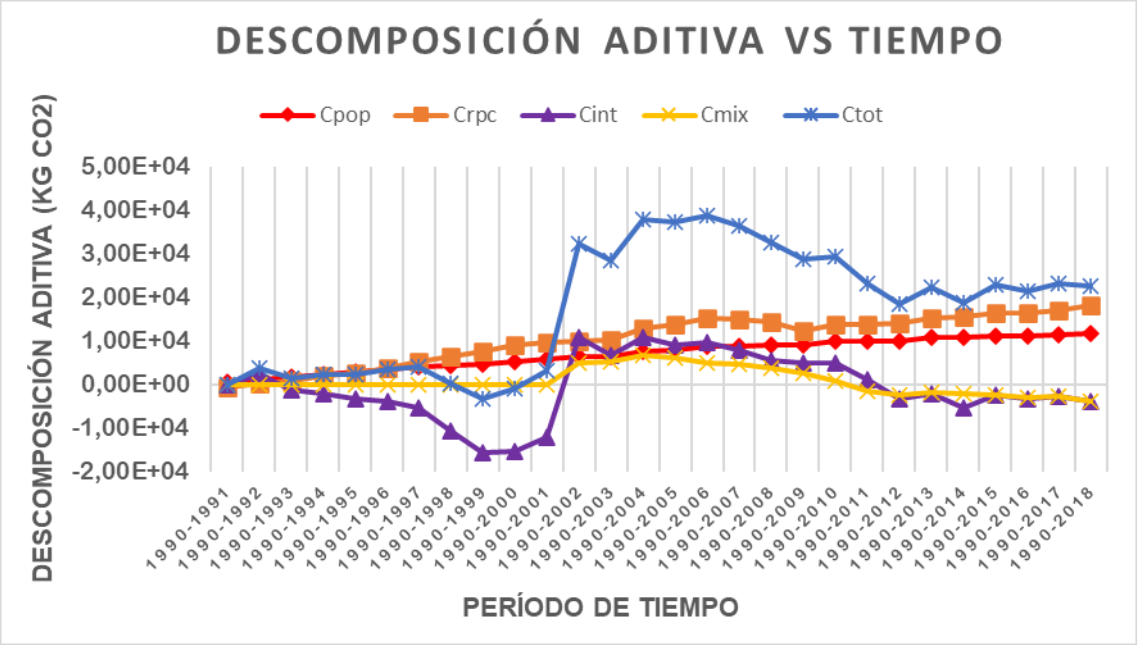

Figura 15. Gráfico para la descomposición LMDI para las variaciones de emisiones de CO_2 en el Sector Económico 1 de Estados Unidos en serie anual desde 1990 a 2018. Obtenido de la Tabla XXI.

Tabla XXII. Tabla para la descomposición aditiva LMDI para las variaciones de emisiones de CO_2 para el Sector Económico 1 de Estados Unidos en serie anual desde 1990 a 2018.

Tiempo	Dpop	Drpc	Dint	Dmix	Dtot
1990-1991	1,01	0,99	1,00	1,00	1,00
1990-1992	1,03	1,01	1,05	1,00	1,09
1990-1993	1,04	1,02	0,97	1,00	1,04
1990-1994	1,05	1,05	0,96	1,00	1,06
1990-1995	1,07	1,06	0,93	1,00	1,06
1990-1996	1,08	1,09	0,92	1,00	1,08
1990-1997	1,09	1,13	0,89	1,00	1,09
1990-1998	1,11	1,16	0,78	1,00	1,01
1990-1999	1,12	1,20	0,69	1,00	0,92
1990-2000	1,13	1,24	0,70	1,00	0,98
1990-2001	1,14	1,24	0,76	1,00	1,08
1990-2002	1,12	1,19	1,21	1,09	1,75
1990-2003	1,12	1,20	1,13	1,10	1,67
1990-2004	1,13	1,24	1,20	1,12	1,8 8
1990-2005	1,14	1,26	1,17	1,11	1,87
1990-2006	1,16	1,29	1,18	1,09	1,90
1990-2007	1,16	1,29	1,14	1,08	1,85
1990-2008	1,17	1,28	1,10	1,07	1,76
1990-2009	1,18	1,24	1,09	1,05	1,67
1990-2010	1,19	1,28	1,09	1,01	1,69
1990-2011	1,20	1,29	1,02	0,97	1,54
1990-2012	1,21	1,31	0,94	0,96	1,43
1990-2013	1,22	1,33	0,96	0,97	1,52
1990-2014	1,23	1,35	0,90	0,96	1,44
1990-2015	1,23	1,36	0,96	0,96	1,53
1990-2016	1,24	1,36	0,94	0,95	1,50
1990-2017	1,24	1,37	0,95	0,95	1,54
1990-2018	1,25	1,41	0,93	0,93	1,53

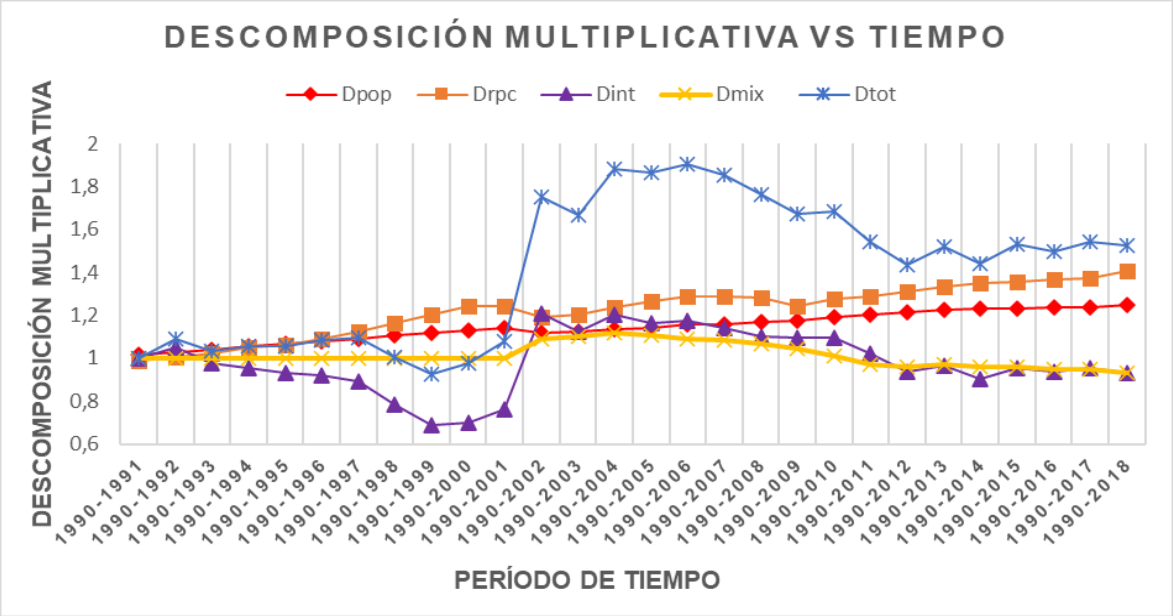

Figura 16. Gráfico para la descomposición multiplicativa LMDI para las variaciones de emisiones de CO_2 en el Sector Económico 1 de Estados Unidos en serie anual desde 1990 a 2018. Obtenido de la Tabla XXII.

Tabla XXIII. Tabla para la descomposición aditiva LMDI para las variaciones de emisiones de CO_2 para el Sector Económico 2 de Estados Unidos en serie anual desde 1990 a 2018.

Tiempo	Cpop	Crpc	Cint	Cmix	Ctot
1990-1991	1,53E+04	-1,66E+04	2,48E+04	-7,64E+03	1,59E+04
1990-1992	3,10E+04	7,18E+03	-9,70E+03	-3,02E+04	-1,67E+03
1990-1993	4,62E+04	2,32E+04	-4,10E+04	-2,22E+04	6,12E+03
1990-1994	6,09E+04	5,49E+04	-5,44E+04	-2,88E+04	3,27E+04
1990-1995	7,31E+04	7,02E+04	-1,09E+05	-4,73E+04	-1,25E+04
1990-1996	8,69E+04	9,97E+04	-1,42E+05	-4,02E+04	4,75E+03
1990-1997	1,04E+05	1,40E+05	-1,35E+05	-2,69E+04	8,23E+04
1990-1998	1,18E+05	1,79E+05	-1,70E+05	-4,00E+04	8,71E+04
1990-1999	1,30E+05	2,18E+05	-1,82E+05	-1,02E+05	6,43E+04
1990-2000	1,48E+05	2,60E+05	-1,58E+05	-1,07E+05	1,44E+05
1990-2001	1,60E+05	2,59E+05	-2,02E+05	-8,19E+04	1,35E+05
1990-2002	1,53E+05	2,40E+05	-4,21E+05	-9,19E+04	-1,21E+05
1990-2003	1,63E+05	2,61E+05	-4,51E+05	-8,41E+04	-1,11E+05
1990-2004	1,75E+05	2,96E+05	-4,69E+05	-9,06E+04	-8,90E+04
1990-2005	1,82E+05	3,18E+05	-5,30E+05	-9,23E+04	-1,22E+05
1990-2006	1,88E+05	3,29E+05	-5,91E+05	-9,66E+04	-1,71E+05
1990-2007	2,03E+05	3,49E+05	-5,56E+05	-1,10E+05	-1,14E+05
1990-2008	2,10E+05	3,35E+05	-5,83E+05	-1,10E+05	-1,49E+05
1990-2009	2,02E+05	2,74E+05	-6,39E+05	-1,38E+05	-3,00E+05
1990-2010	2,19E+05	3,05E+05	-6,16E+05	-1,30E+05	-2,22E+05
1990-2011	2,21E+05	3,05E+05	-6,36E+05	-1,54E+05	-2,64E+05
1990-2012	2,24E+05	3,14E+05	-6,46E+05	-1,85E+05	-2,93E+05
1990-2013	2,31E+05	3,26E+05	-6,67E+05	-1,79E+05	-2,89E+05
1990-2014	2,36E+05	3,38E+05	-6,90E+05	-1,87E+05	-3,04E+05
1990-2015	2,36E+05	3,46E+05	-7,11E+05	-2,19E+05	-3,49E+05
1990-2016	2,39E+05	3,49E+05	-7,18E+05	-2,40E+05	-3,69E+05
1990-2017	2,40E+05	3,57E+05	-7,47E+05	-2,49E+05	-3,97E+05
1990-2018	2,46E+05	3,80E+05	-7,43E+05	-2,68E+05	-3,86E+05

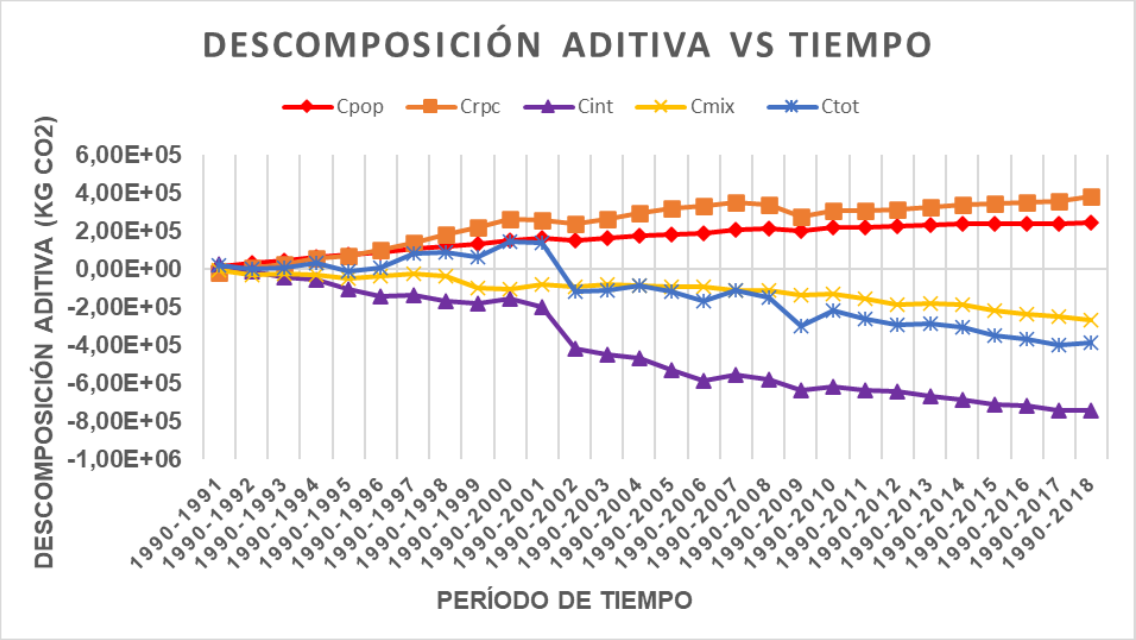

Figura 17. Gráfico para la descomposición aditiva LMDI para las variaciones de emisiones de CO_2 para el Sector Económico 2 de Estados Unidos en serie anual desde 1990 a 2018. Obtenido de Tabla XXIII.

Tabla XXIV. Tabla para la descomposición multiplicativa LMDI para las variaciones de emisiones de CO_2 para el Sector Económico 2 de Estados Unidos en serie anual desde 1990 a 2018.

Tiempo	Cpop	Crpc	Cint	Cmix	Ctot
1990-1991	1,01	0,99	1,02	0,99	1,01
1990-1992	1,03	1,01	0,99	0,97	1,00
1990-1993	1,04	1,02	0,96	0,98	1,01
1990-1994	1,05	1,05	0,95	0,98	1,03
1990-1995	1,07	1,06	0,91	0,96	0,99
1990-1996	1,08	1,09	0,88	0,97	1,00
1990-1997	1,09	1,13	0,89	0,98	1,07
1990-1998	1,10	1,16	0,87	0,97	1,08
1990-1999	1,12	1,20	0,86	0,92	1,06
1990-2000	1,13	1,24	0,88	0,92	1,13
1990-2001	1,14	1,24	0,85	0,93	1,12
1990-2002	1,15	1,25	0,68	0,92	0,89
1990-2003	1,16	1,27	0,66	0,93	0,90
1990-2004	1,17	1,31	0,65	0,92	0,92
1990-2005	1,18	1,34	0,61	0,92	0,89
1990-2006	1,20	1,37	0,57	0,91	0,85
1990-2007	1,21	1,38	0,60	0,90	0,90
1990-2008	1,22	1,37	0,58	0,90	0,87
1990-2009	1,23	1,32	0,52	0,87	0,74
1990-2010	1,24	1,35	0,55	0,88	0,81
1990-2011	1,25	1,36	0,53	0,86	0,77
1990-2012	1,25	1,37	0,52	0,83	0,74
1990-2013	1,26	1,39	0,51	0,83	0,75
1990-2014	1,27	1,41	0,49	0,83	0,73
1990-2015	1,28	1,44	0,48	0,79	0,69
1990-2016	1,29	1,45	0,47	0,78	0,68
1990-2017	1,30	1,47	0,45	0,76	0,65
1990-2018	1,30	1,50	0,45	0,75	0,66

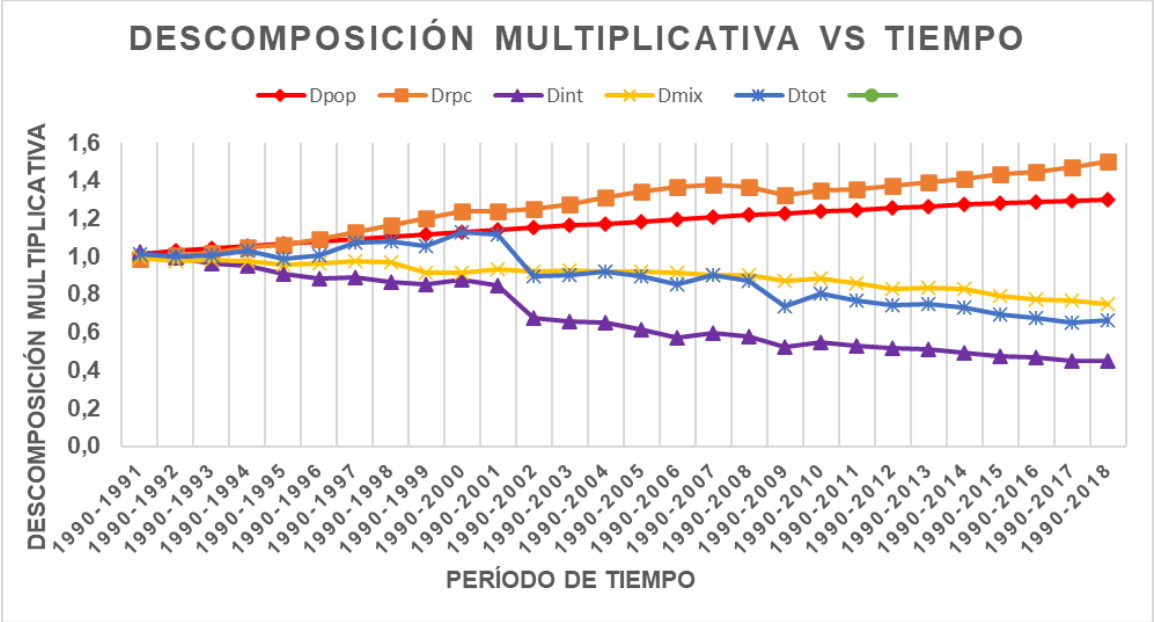

Figura 18. Gráfico para la descomposición multiplicativa LMDI para las variaciones de emisiones de CO_2 en el Sector Económico 2 en Estados Unidos en serie anual desde 1990 a 2018. Obtenido de la Tabla XXIV.

Tabla XXV. Tabla para la descomposición aditiva LMDI para las variaciones de emisiones de CO_2 para el Sector Económico 3 de Estados Unidos en serie anual desde 1990 a 2018

Tiempo	Cpop	Crpc	Cint	Cmix	Ctot
1990-1991	4,14E+04	-4,48E+04	1,99E+04	-2,53E+04	-8,75E+03
1990-1992	8,52E+04	1,97E+04	-3,74E+04	-1,59E+04	5,16E+04
1990-1993	1,29E+05	6,45E+04	1,34E+04	-4,41E+04	1,62E+05
1990-1994	1,69E+05	1,53E+05	-4,53E+04	-5,60E+04	2,21E+05
1990-1995	2,10E+05	2,02E+05	-4,36E+04	-6,83E+04	3,00E+05
1990-1996	2,52E+05	2,89E+05	-6,54E+04	-5,49E+04	4,21E+05
1990-1997	2,98E+05	4,02E+05	-1,38E+05	2,59E+03	5,64E+05
1990-1998	3,40E+05	5,14E+05	-2,32E+05	-8,30E+03	6,13E+05
1990-1999	3,81E+05	6,38E+05	-3,27E+05	-3,85E+04	6,53E+05
1990-2000	4,27E+05	7,50E+05	-3,55E+05	-3,38E+04	7,88E+05
1990-2001	4,69E+05	7,61E+05	-3,09E+05	-4,51E+03	9,16E+05
1990-2002	4,93E+05	7,74E+05	-4,38E+05	-4,50E+04	7,84E+05
1990-2003	5,27E+05	8,47E+05	-4,92E+05	-3,87E+04	8,43E+05
1990-2004	5,61E+05	9,49E+05	-6,02E+05	-4,73E+04	8,61E+05
1990-2005	5,98E+05	1,05E+06	-6,75E+05	-4,60E+04	9,22E+05
1990-2006	6,12E+05	1,07E+06	-9,79E+05	-1,65E+04	6,89E+05
1990-2007	6,68E+05	1,15E+06	-7,92E+05	-7,97E+04	9,44E+05
1990-2008	6,87E+05	1,10E+06	-8,74E+05	-1,16E+05	7,94E+05
1990-2009	6,98E+05	9,47E+05	-8,75E+05	-1,85E+05	5,85E+05
1990-2010	7,39E+05	1,03E+06	-8,76E+05	-1,78E+05	7,11E+05
1990-2011	7,48E+05	1,03E+06	-9,99E+05	-2,25E+05	5,57E+05
1990-2012	7,49E+05	1,05E+06	-1,16E+06	-2,90E+05	3,47E+05
1990-2013	7,87E+05	1,11E+06	-1,11E+06	-3,07E+05	4,86E+05
1990-2014	8,14E+05	1,16E+06	-1,16E+06	-3,21E+05	5,02E+05
1990-2015	8,28E+05	1,21E+06	-1,25E+06	-3,75E+05	4,20E+05
1990-2016	8,44E+05	1,23E+06	-1,30E+06	-4,16E+05	3,59E+05
1990-2017	8,59E+05	1,28E+06	-1,39E+06	-4,27E+05	3,15E+05
1990-2018	8,86E+05	1,37E+06	-1,38E+06	-4,70E+05	4,04E+05

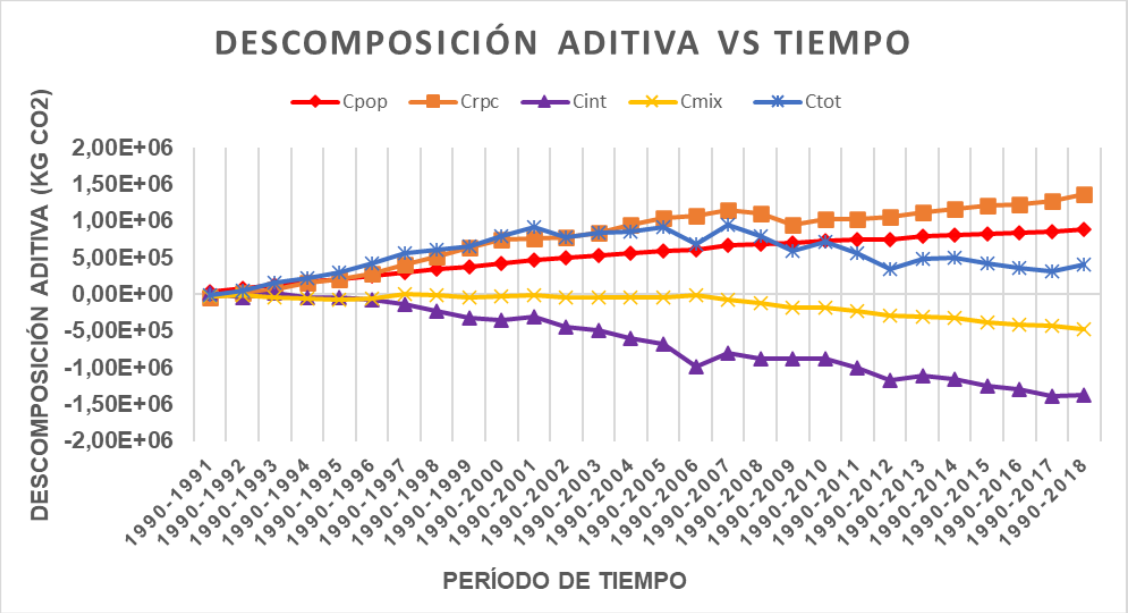

Figura 19. Gráfico para la descomposición aditiva LMDI para las variaciones de emisiones de CO_2 en el Sector Económico 3 en Estados Unidos en serie anual desde 1990 a 2018. Obtenido de la Tabla XXV.

Tabla XXVI. Tabla para la descomposición aditiva LMDI para las variaciones de emisiones de CO_2 para el Sector Económico 3 de Estados Unidos en serie anual desde 1990 a 2018.

Tiempo	Dpop	Drpc	Dint	Dmix	Dtot
1990-1991	1,01	0,99	1,01	0,99	1,00
1990-1992	1,03	1,01	0,99	0,99	1,02
1990-1993	1,04	1,02	1,00	0,99	1,05
1990-1994	1,05	1,05	0,99	0,98	1,07
1990-1995	1,07	1,06	0,99	0,98	1,10
1990-1996	1,08	1,09	0,98	0,98	1,14
1990-1997	1,09	1,13	0,96	1,00	1,18
1990-1998	1,11	1,16	0,93	1,00	1,20
1990-1999	1,12	1,20	0,91	0,99	1,21
1990-2000	1,13	1,24	0,90	0,99	1,25
1990-2001	1,14	1,24	0,92	1,00	1,30
1990-2002	1,15	1,25	0,88	0,99	1,25
1990-2003	1,16	1,27	0,87	0,99	1,27
1990-2004	1,17	1,31	0,84	0,99	1,28
1990-2005	1,18	1,34	0,83	0,99	1,30
1990-2006	1,19	1,37	0,75	1,00	1,22
1990-2007	1,21	1,38	0,80	0,98	1,30
1990-2008	1,22	1,37	0,78	0,97	1,26
1990-2009	1,23	1,32	0,77	0,95	1,19
1990-2010	1,24	1,35	0,78	0,95	1,23
1990-2011	1,25	1,36	0,74	0,94	1,18
1990-2012	1,26	1,38	0,70	0,92	1,11
1990-2013	1,27	1,39	0,72	0,91	1,16
1990-2014	1,28	1,42	0,71	0,91	1,16
1990-2015	1,28	1,44	0,69	0,89	1,14
1990-2016	1,29	1,46	0,67	0,88	1,12
1990-2017	1,30	1,48	0,65	0,88	1,10
1990-2018	1,31	1,51	0,66	0,87	1,13

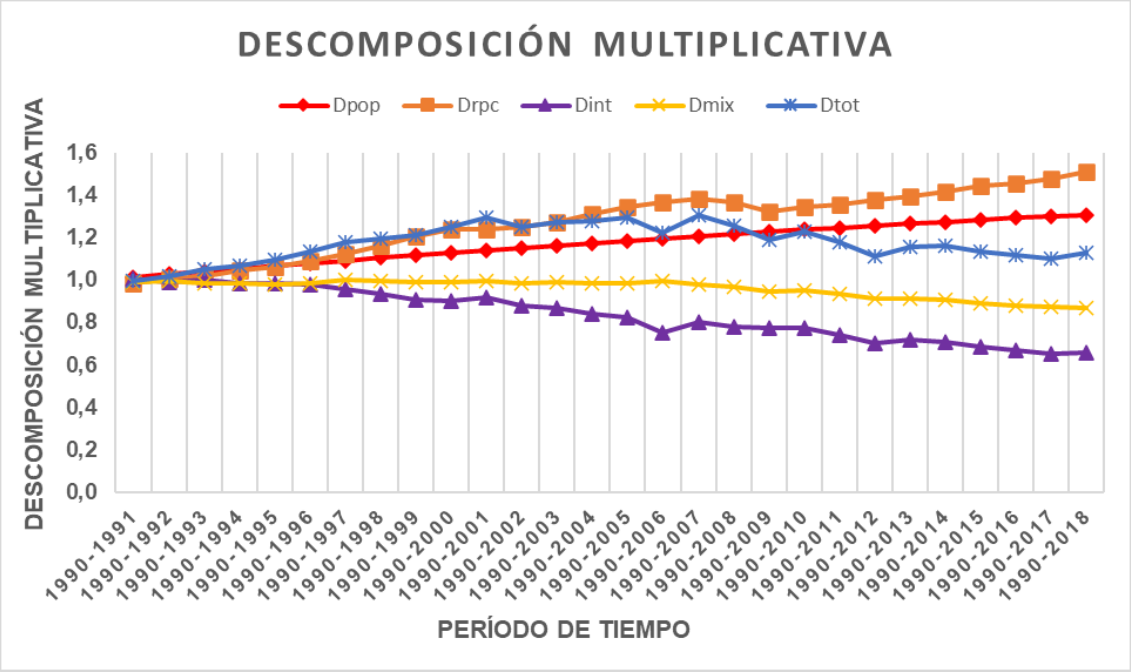

Figura 20. Gráfico para la descomposición multiplicativa LMDI para las variaciones de emisiones de CO_2 en el Sector Económico 3 en Estados Unidos en serie anual desde 1990 a 2018. Obtenido de la Tabla XXVI.