

Factores determinantes de las emisiones de CO₂ en los sectores industrial y transporte en Ecuador

Determinant factors of CO₂ emissions from industry and transportation in Ecuador

Karla Muentes¹, Jhon Pereira², Rodolfo Rivadeneira³ & Carlos Moreira⁴

¹⁻²⁻³⁻⁴ Universidad Técnica de Manabí, carrera de Ingeniería Química, Portoviejo, Ecuador.

Recibido 30 agosto 2022, aceptado 10 noviembre 2022, en línea 10 de diciembre 2022.

Resumen

Las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), son una preocupación latente para todos los países del mundo, por esto, muchos de los países forman parte de la creación de tratados, acuerdos y normas que permitan concientizar y plantearse objetivos por el bien común. Las estimaciones de los factores determinantes dirigido a las emisiones de CO₂, se evidencia mediante la descomposición media logarítmica (LMDI) que permite conocer la variación de estas emisiones. El método antes mencionado presenta gran robustez para la estimación de este tipo de análisis, la descomposición de los factores de mix energético (Mix), índice de carbonización (Ic), intensidad energética (Ie), actividad económica (Act) y poblacional (P) aplicado a dos de los sectores más representativos del Ecuador (Transporte e Industrial) en cuanto al consumo de energía, evidencia que entre 2000 - 2020 las emisiones en el sector transporte han aumentado 5,56 Mt de CO₂, mientras que en el sector industrial las emisiones muestran una reducción de 1,83 Mt de CO₂. El estudio realizado evidencia que los factores determinantes en los sectores del transporte e industrial son el mix energético, índice de carbonización e intensidad energética. El análisis LMDI aplicado, nos permite describir las emisiones de CO₂ mediante la descomposición desagregada de factores y la participación de combustibles de origen fósil de cada sector en estudio.

Palabras Claves: Análisis LMDI, Descomposición por índice, intensidad energética, factores determinantes, dióxido de carbono.

Abstract

Greenhouse gas (GHG) emissions are a latent concern for all countries in the world, for this reason, many of the countries are part of the creation of treaties, agreements and regulations that allow raising awareness and setting goals for the common good. The estimations of the determining factors directed to CO₂ emissions, is evidenced by means of the logarithmic mean decomposition (LMDI) that allows to know the variation of these emissions. The aforementioned method presents great robustness for the estimation of this type of analysis, the decomposition of the factors of energy mix (Mix), carbonization index (Ic), energy intensity (Ie), economic activity (Act) and population (P) applied to two of the most representative sectors of Ecuador (Transport and Industrial) in terms of energy consumption, shows that between 2000 - 2020 emissions in the transport sector have increased 5,56 Mt of CO₂, while in the industrial sector emissions show a reduction of 1,83 Mt of CO₂. The study carried out shows that the determining factors in the transport and industrial sectors are the energy mix, carbonization index and energy intensity. The applied LMDI analysis allows us to describe CO₂ emissions through the disaggregated decomposition of factors and the participation of fossil fuels in each sector under study.

Keywords: LMDI analysis, index decomposition, energy intensity, determinants, carbon dioxide.

* Correspondencia del autor:
E-mail: rodolfo.rivadeneira@utm.edu.ec



Esta obra está bajo una licencia de creative commons: atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0. Los autores mantienen los derechos sobre los artículos y por tanto son libres de compartir, copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra.

Introducción

Las emisiones de gases de efecto invernadero son una de las preocupaciones globales más críticas abordadas por las naciones del mundo (Mousavi, López, Biona, Chiu, & Blesl, 2017), el aumento de las emisiones de CO₂ se le atribuye al nivel creciente de la producción de energía, que a su vez está muy relacionada con el nivel de actividad económica. Influyen factores de forma directa como la población, renta per cápita, intensidad energética, mix energético e intensidad de carbonización (Juez, 2005).

Durante el último siglo las emisiones globales de CO₂ provenientes del consumo de combustibles fósiles y la industria han aumentado constantemente (Díaz, 2021). En el país la demanda energética se incrementó 14,3% en el periodo 2010 - 2020, pasando de 72,7 millones de barriles equivalentes de petróleo en el año 2010 a 83 millones BEP en el 2020. Dentro de esto se explica que en el año 2020 el sector transporte es el mayor demandante de energía con una participación del 45,4%, seguido por el sector industrial con 17,4%, y el tercer lugar con 15,7% de demanda energética proviene del sector residencial (Ministerio de Energía y Recursos Naturales no Renovables, 2020).

Al analizar el balance energético entre los años 2012 y 2020, donde se representan las demandas y consumos de energía en el periodo 2000 - 2020 por sectores representativos del país se evidencia que para el año 2000 en el sector transporte el 87% de la energía empleada viene dada por la gasolina y el diésel, seguidos de un 8% de participación dada por el fuel oil (Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos, 2013), mientras que para el año 2020 se llega a un 99% de la energía utilizada en el sector transporte proviene del diésel y la gasolina (Instituto de Investigación Geológico y Energético, 2020).

Otro sector representativo es el industrial, muestra que en el año 2000 su consumo predominante era el diésel con un 39% de participación seguido por la electricidad que representaba un 31% (Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos, 2013), para el año 2020 la participación más elevada para el sector industrial proviene de la electricidad con un 43,5% seguida por el diésel con un 25,6% (Instituto de Investigación Geológico y Energético, 2020).

A nivel mundial se ha utilizado con frecuencia el método LMDI para poder describir el comportamiento de las emisiones de CO₂ en diferentes partes del mundo como lo dice (Mai, Ran, & Wu, 2020), en su estudio de descomposición de LMDI de las emisiones de dióxido de carbono del sector de la energía eléctrica en el noroeste de China donde se analizan seis factores explicativos, incluida la intensidad del carbono, la combinación y generación de energía, electrificación, economía y población. Los resultados muestran que las fuerzas impulsoras de las emisiones de CO₂ del sistema eléctrico variaron enormemente

entre las provincias. En general, el crecimiento económico ha contribuido principalmente a aumentar las emisiones de CO₂, mientras que la mejora en la eficiencia de generación de energía ha disminuido de manera crucial las emisiones de CO₂.

En una investigación sobre la contribución de los subsectores manufactureros en la variación de las emisiones de CO₂ por el uso de combustible en San Luis Potosí (Gutiérrez, Medellín, Avila, Morales, & Chavira, 2019), se realizó una descomposición de los factores que determinan la variación anual de las emisiones de CO₂, identificando el efecto de cada uno de los subsectores. Se utilizó el enfoque LMDI para identificar la contribución desagregada de los subsectores manufactureros en la variación de las emisiones la intensidad energética y el (PIB) manufacturero fueron los factores de mayor efecto en la variación del CO₂, con contribuciones del 53,85% y 37,32%, respectivamente.

Un estudio sobre aspectos ecológicos, económicos y tecnológicos del desarrollo, denominado Análisis de descomposición del consumo de energía relacionado con las emisiones de CO₂ en Ecuador (Robalino & Aniskenko, 2017), sugiere que con los cambios apropiados en la combinación energética, la estructura sectorial y la participación de las energías renovables, Ecuador puede avanzar hacia un estado más sostenible desde el punto de vista ambiental.

A diferencia de los estudios mencionados el presente trabajo investigativo busca evidenciar mediante esta metodología la variación de emisiones de CO₂ en el periodo 2000-2020 de los sectores más representativos del Ecuador en cuanto al consumo energético (Gómez, et al., 2006), tomando en cuenta los factores de emisión descritos por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), que son los que reflejan el contenido total de carbono del combustible, en donde se relacionan la cantidad de GEI emitido a la atmósfera y una unidad de producción o una unidad funcional, por lo cual en este artículo se consideran los factores de emisión de uso frecuente que describe el IPCC (Rodríguez, Ruiz, & Meneses, 2020).

Materiales y Métodos

Con respecto al cálculo de las emisiones de CO₂ como un producto del consumo de energía (Castesana & Puliafito, 2013), la identidad de Kaya utiliza las relaciones entre las variables, económicas, energéticas y ambientales, las mismas que permiten hacer un diagnóstico de la conexión que existe entre la actividad económica y la emisión de gases de efecto invernadero. Esta identidad cumple un rol muy importante en los estudios del Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC), en lo que corresponde a los escenarios de contaminación a la atmósfera por la emisión de gases de efecto invernadero (GEI), e intenta medir la incidencia de factores básicos.

Descomposición Lmdi

El método LMDI propone una nueva función de ponderación de tipo media logarítmica, la cual evidencia una descomposición exacta. Esta descomposición adopta forma aditiva o multiplicativa (Fernandez, 2012). Se usará la descomposición aditiva en el desarrollo de este trabajo, este método descompone la diferencia del indicador entre 0 y T en la suma del número de efectos considerados.

En el estudio de descomposición de las intensidades de emisión de gas y energía agregadas para la industria: un método refinado del índice de Divisia (Ang & Choi, 1997), se propuso una descomposición en 5 factores; en esta investigación se propone la descomposición en 5 factores determinantes como lo propone (Ang, 1999).

Luego de analizar la identidad de Kaya podemos reescribir el método.

$$C = \sum_{j=1}^k \sum_{r=1}^m C_{jr} = \sum_{j=1}^k \sum_{r=1}^m P \frac{Y_j E_j E_{jr}}{P Y_j E_j E_{jr}} C_{jr} \tag{1}$$

Donde C_{jr} es la emisión de CO₂ para el combustible r en el sector j, Y_j denota la producción industrial del sector j, P representa la población, E_j es el consumo total de energía del sector, G_j= Y_j/P_j recoge la producción per cápita, I_j= E_j/Y_j describe la intensidad energética, M_{jr}= E_{jr}/E_j representa el mix energético y U_{jr}= C_{jr}/E_{jr} denota el factor de carbonización.

Se establece que la descomposición se aplica a k sectores y m tipos de combustibles, para esta investigación se ha considerado a dos de los sectores más representativos del país en emisiones de CO₂, el sector transporte e industrial, incluyendo diferentes tipos de combustibles provenientes de energías de origen fósil r=5 y r=7, respectivamente. Además, para el sector industrial se considerará la electricidad como combustible adicional por su amplia participación en el sector.

Las emisiones anuales de CO₂ son expresadas en kilo toneladas (kt) de CO₂, la energía consumida por el uso de combustibles en barriles equivalentes de petróleo (BEP), el PIB per cápita para cada sector en análisis corresponde a miles de USD a precios constantes del 2007.

Los factores de emisión para esta investigación fueron tomados de los balances energéticos dispuestos por el Ministerio de Energía y Recursos Naturales no Renovables procedentes de los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero (Eggleston, 2006). A continuación, se detallan las ecuaciones que describirán la evaluación de cada uno de los factores.

La ecuación 7 se evalúa en función del tiempo de estudio, la misma corresponde a la función de peso

Tabla 1. Ecuaciones para la evaluación del Método de Índice de Divisa Media Logarítmica.

Descomposición aditiva			
$\Delta C_{pob} = \sum_{jr} W_{jr} \cdot \ln \left(\frac{P_j^T}{P_j^0} \right)$	(2)	$\Delta C_{mix} = \sum_{jr} W_{jr} \cdot \ln \left(\frac{M_{jr}^T}{M_{jr}^0} \right)$	(5)
$\Delta C_{act} = \sum_{jr} W_{jr} \cdot \ln \left(\frac{Q_j^T}{Q_j^0} \right)$	(3)	$\Delta C_{carb} = \sum_{jr} W_{jr} \cdot \ln \left(\frac{U_{jr}^T}{U_{jr}^0} \right)$	(6)
$\Delta C_{int} = \sum_{jr} W_{jr} \cdot \ln \left(\frac{I_j^T}{I_j^0} \right)$	(4)	$W_{jr} = \frac{C_{jr}^T - C_{jr}^0}{\ln C_{jr}^T - \ln C_{jr}^0}$	(7)

de tipo media logarítmica, es una función de pesos simétrica, esto permite que la descomposición sea exacta, ayuda cuando las variaciones de los datos en el periodo analizado sean drásticas (Fernandez, 2012).

Lmdi Aditivo

$$\Delta C_{T0X} = \Delta C_{Pob} + \Delta C_{Act} + \Delta C_{Int} + \Delta C_{mix} + \Delta C_{carb} \tag{8}$$

Mencionan (Merchan, 2018) que el método LMDI aditivo se utiliza para identificar las causas que influyen en el cambio del consumo de energía, presenta consistencia en la agregación, y cumple con el principio de distribución proporcional, ofrece una perfecta descomposición, lo cual permite conseguir el propósito de este trabajo de investigación que es determinar los factores que han descrito las emisiones de CO₂ del país durante el periodo de análisis.

Se evaluará mediante la expresión 8, como las emisiones de CO₂ se ven descritas por los factores, población, actividad económica, intensidad energética, mix energético e índice de carbonización. El factor población es importante porque influye en las emisiones de CO₂, al existir un mayor número de personas son necesarios más recursos, que de una u otra manera están vinculados con la energía y por consiguiente a las emisiones (Arroyo & Miguel, 2019).

El PIB per cápita, es el indicador que ayuda a la evaluación del factor actividad económica) esto indica el crecimiento económico de la población lo que está asociado con tasas rápidas de uso de recursos y producción de desechos, es importante porque se espera que el PIB per cápita ejerza un efecto positivo sobre las emisiones (Arroyo & Miguel, 2019)

La relación entre el consumo de energía y el PIB describen el factor intensidad energética , este se establece como un valor agregado que depende de varios factores entre los que interviene la estructura de los bienes y servicios. La intensidad energética es un indicador que se ve influenciado por el crecimiento de la industria y el comercio, la globalización y emprendimientos de programas de eficiencia energética (Arroyo & Miguel, 2019).

El mix energético () que resulta de la combinación de las fuentes de energía suministradas al país, evaluada debidamente en su porcentaje de contribución por cada tipo de combustible para cada sector. El factor índice de carbonización considera la relación de las

emisiones totales de CO₂ entre el consumo energético por año, este describe las emisiones de carbono por unidad de energía consumida.

Resultados y Discusión

Posterior al análisis de los sectores transporte e industrial empleando el método LMDI en su descomposición aditiva, se observa (fig. 1) que el sector con mayor incidencia en la variación de las emisiones totales de CO₂ en el país es el transporte, con una aportación de 10,35 Mt de CO₂ en el año 2019 con respecto al año 2000. Se explica que debido a la participación de combustibles de origen fósil este sector presenta la tendencia de aportar en grandes cantidades CO₂ a las emisiones totales. En el mismo gráfico se expresa que en el sector industrial hubo una reducción de 2,68 Mt de CO₂ en el año 2019 con respecto al año 2000 de las emisiones totales anuales del país, debido a la implementación de matrices energéticas de origen hídrico que permiten hacer uso de energía más limpia como la electricidad, lo cual ayudará en la mitigación del cambio climático.

Se analizó los factores determinantes (población, actividad económica, intensidad energética, mix energético e índice de carbonización) aplicando el método LMDI aditivo en el sector transporte en serie anual desde el 2000 a 2020. El factor mix energético, contribuyó de forma positiva a las emisiones totales de CO₂. Su partición alcanza su valor máximo en el periodo 2000 - 2020 con un equivalente de 59,99 kt CO₂ (Tabla 2), por otro lado, en el periodo 2000 - 2013 este mismo factor evitó la producción de 47,99 kt de CO₂. La misma tendencia se mantiene en el factor índice de carbonización, a partir del año 2008 se ha encargado de evitar la producción de emisiones de CO₂, en el año 2013 con respecto al año 2000, tuvo una reducción de 94,10 kt de CO₂, y su mayor aportación a las emisiones totales del país, se dio en el periodo 2004-2000, donde se contabilizaron 31,72 kt de CO₂ de aportación.

Los factores, población, PIB per cápita e intensidad energética, a lo largo del periodo de análisis en el sector transporte de manera general muestran contribuciones positivas a la producción de emisiones de CO₂, pues estos factores están ligados

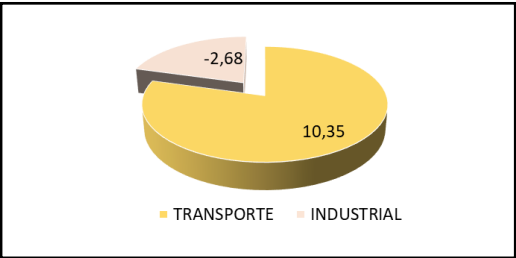


Figura 1. Descomposición aditiva del método LMDI para las variaciones de emisiones de CO₂ (Mt) en los sectores Transporte e Industrial del año 2019 con respecto al año 2000.

Tabla 2. Resultados de los factores de descomposición aditiva de emisiones de CO₂ (kt) en el sector transporte en serie anual desde 2000 a 2020.

Año	ΔCp	ΔCact	ΔCint	ΔCmix	ΔCi	ΔCtot
2001	239,66	136,12	-13,27	7,86	7,66	378,03
2002	479,84	-14,60	346,12	1,62	0,71	813,68
2003	675,72	37,51	387,13	19,71	17,94	1138,00
2004	906,51	78,57	1166,54	36,41	31,72	2219,75
2005	1086,19	227,14	1679,88	28,75	24,32	3046,29
2006	1344,69	677,52	1941,91	20,97	16,97	4002,06
2007	1618,75	730,70	2584,46	13,09	9,09	4956,08
2008	1916,06	1229,70	2833,37	3,17	-0,89	5981,41
2009	2199,40	1865,82	2537,76	-8,38	-16,61	6577,99
2010	2486,18	1929,66	2725,01	-35,41	-49,93	7055,50
2011	2828,99	2539,25	3107,17	-31,29	-45,28	8398,84
2012	3095,30	3178,29	2568,33	-40,06	-51,01	8740,84
2013	3395,45	4439,13	1799,36	-47,99	-94,10	9491,85
2014	3407,96	4626,63	-667,48	-10,99	-36,56	7319,55
2015	3657,43	4158,56	-64,65	-32,24	-71,47	7647,63
2016	3904,09	3997,94	191,06	-31,90	-84,62	7976,57
2017	4246,90	4848,60	178,07	39,38	-59,16	9253,80
2018	4633,94	5399,54	458,23	38,36	-16,20	10513,87
2019	4822,92	5315,13	217,73	34,60	-38,29	10352,49
2020	4305,32	2467,54	-1213,12	59,99	-63,65	5556,09

al crecimiento y aumento en número de habitantes, aumento del PIB y mayor consumo energético debido al crecimiento de la población.

El método LMDI en su análisis de descomposición aditiva dirigida al sector industrial evidenció que el efecto del mix energético contribuyó en la reducción de las emisiones, seguido de los factores de intensidad de carbonización, intensidad energética, actividad económica y por último el factor poblacional. El factor mix energético tubo su mayor aporte a las emisiones totales de CO₂ en el periodo 2000-2005, con un valor de 299,32 kt de CO₂ (Tabla 3), este mismo factor evitó la contribución de 1543,67 kt de CO₂ en el periodo 2000-2019. El factor índice de carbonización mantuvo la misma tendencia, durante el periodo 2000-2005 generó el mayor aporte a las emisiones con 298,48 kt de CO₂ (Tabla 3), mientras que en el periodo 2000-2019 evitó la generación de 1500,49 kt de CO₂.

El factor intensidad energética de este sector presenta una tendencia de reducción a la generación de emisiones de CO₂ a lo largo de todo el periodo de análisis, este factor depende del consumo energético y el PIB, ambos presentan tendencia de crecimiento y se considera en este sector una mayor participación de energía eléctrica en comparación con energías de origen fósil, lo que explica la reducción en la producción de CO₂ por parte de este factor.

Los factores población y PIB per cápita, presentan tendencia de aportación a la producción de emisiones de CO₂ en general, estos factores dependen de los habitantes y PIB nacional, y se explica el aumento porque estos mantienen un alza a lo largo de los periodos de análisis.

Las variaciones de la emisión total de CO₂, a través del tiempo, ocurre principalmente por el aumento o disminución de los efectos en estudio. A partir del año 2007 logros en la reducción de pérdidas de energía y aumentos en la eficiencia del sistema de transmisión y distribución de diferentes tipos de energía, permiten que, a nivel nacional, el sector industrial tenga una reducción de las emisiones de CO₂ debido al factor intensidad energética. Esto indica que la intensidad energética contribuye favorablemente a la

Tabla 3
Resultados de los factores de descomposición aditiva de emisiones de CO₂ (kt) en el sector industrial en serie anual desde 2000 al 2020.

AÑO	ΔCp	Δ Cact	ΔCint	Δcmix	ΔCc	Δctot
2001	70,97	89,17	-301,26	9,25	9,30	-122,57
2002	144,28	102,38	-162,68	8,17	8,14	100,29
2003	194,78	147,85	-344,85	-67,49	-67,17	-136,89
2004	248,07	172,29	-274,96	-261,42	-260,85	-376,88
2005	297,99	341,10	-810,01	299,32	298,48	426,87
2006	347,27	428,55	-626,00	-151,57	-151,56	-153,31
2007	392,76	488,11	-1202,75	128,87	130,57	-62,44
2008	473,52	744,15	-1168,78	101,22	99,88	249,99
2009	566,71	673,68	-497,96	-142,97	-149,82	449,63
2010	639,50	794,09	-531,01	-183,57	-193,50	525,50
2011	709,82	948,62	-572,30	-251,08	-262,20	572,86
2012	792,22	1037,98	-436,66	-275,78	-296,83	820,93
2013	894,74	1258,73	-401,19	-145,10	-187,37	1419,80
2014	870,94	1192,68	-679,42	-569,74	-591,03	223,44
2015	955,63	1145,38	-400,16	-527,91	-573,04	599,90
2016	835,50	884,36	-973,62	-932,64	-924,91	-1111,31
2017	735,51	728,72	-1178,80	-1441,50	-1396,93	-2553,01
2018	816,50	787,94	-1157,99	-1335,15	-1300,21	-2188,91
2019	805,14	744,14	-1188,36	-1543,67	-1500,49	-2683,24
2020	955,64	576,69	-875,63	-1251,75	-1235,64	-1830,69

disminución de las emisiones en este sector (Comisión Económica para América Latina y el Caribe, 2016).

La intensidad energética total del año 2020 cayó 4,9% en comparación con 2019 (Ministerio de Energía y Recursos Naturales no Renovables, 2020). De la misma manera, entre 2019 y 2020 la intensidad energética del sector transporte disminuyó 5,8%, mientras que las intensidades energéticas, industrial y residencial, aumentaron 4,8% y 11,5% respectivamente, esto debido a la pandemia que ocurrió a nivel mundial.

La oferta de electricidad del país para suplir la demanda representa un porcentaje elevado en la matriz energética, debido a que la inclusión de este tipo de energía ha aumentado con relación al año 2000 (Oscullo, 2017). Esto ha evidenciando que el servicio eléctrico del país abastece a más del 97% de la población, debido a la utilización de una matriz eléctrica compuesta por un 55,95% por generación hidráulica, 38,5% generación térmica con base en combustibles fósiles, 0,55% generación térmica en base a biomasa, 3,75% por fuentes de generación eólica - solar y 2,24% proveniente de las interconexiones eléctricas con Colombia y Perú.

Las toneladas de CO₂ emitidas al ambiente por el abastecimiento de la demanda eléctrica del país han disminuido a partir del año 2016, debido al incremento de la generación hidroeléctrica del país, el factor de emisión de CO₂ anual de la operación y funcionamiento del sistema Nacional Interconectado

(SNI) ha representado una disminución del 42%. Esto significa que a través de los años ha decrecido la producción de electricidad con base a tecnologías más amigables con el medio ambiente (Ministerio de Energía y Recursos Naturales no Renovables, 2020).

La figura 2 representa las emisiones de CO₂ aportadas durante los 20 años de análisis, estas muestran una tendencia al aumento, cabe mencionar que en el año 2020 debido a la pandemia generada por el SARS-CoV-2, las emisiones en los sectores objeto de análisis presentaron una disminución en el aporte a la producción de emisiones. En el sector del transporte las emisiones están estrechamente relacionadas a los factores: índice de carbonización, mix energético, intensidad energética, en general estos dependen de la cantidad de energía de origen fósil consumida.

A partir del año 2014, el factor actividad económica tiene una participación similar a los factores más determinantes de este sector, debido a la baja en el consumo energético de estos, porque a partir de ese año se implementó combustible más amigable con el medio ambiente. El factor población mantiene una tendencia de aumento en las emisiones, pero no es determinante en la producción total.

La figura 3 representa las emisiones de CO₂ aportadas durante los 20 años de análisis del sector industrial, podemos observar que los factores que contribuyeron a una mayor reducción de las emisiones fueron el índice de carbonización y mix energético. Estos

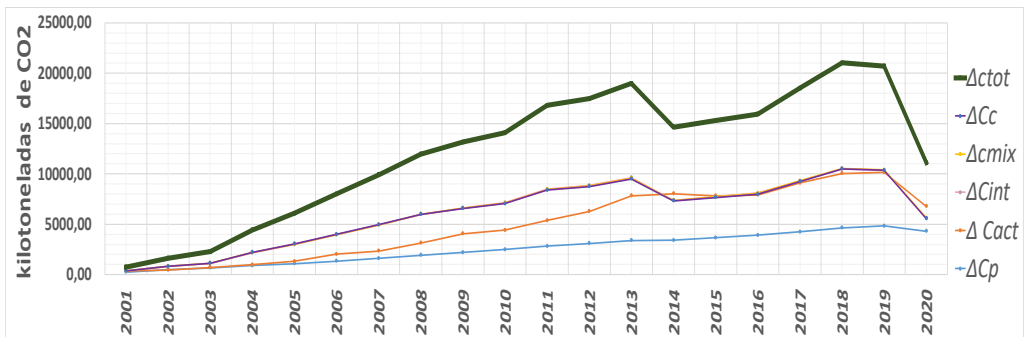


Figura 2. Comportamiento LMDI aditivo para el sector Transporte

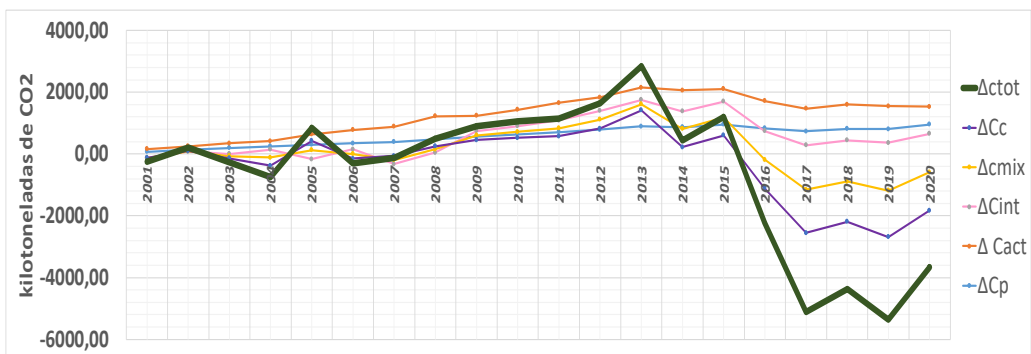


Figura 3. Comportamiento LMDI aditivo para el sector industrial.

factores junto con el de intensidad energética, están influenciados por la participación de energía de origen fósil. El factor poblacional y la actividad económica mantienen la tendencia de aportación al total de emisiones, pero estos no son determinantes.

Conclusiones

El estudio muestra en general que los factores más representativos en la variación de emisiones de CO_2 son el índice de carbonización y el mix energético. Estos se han determinado empleando una variación de la identidad Kaya, permitiendo conocer la variación de las emisiones de CO_2 y de manera desagregada el efecto de cada uno de los factores, utilizando la metodología LMDI en los sectores transporte e industrial en el Ecuador durante el periodo de estudio 2000 - 2020, los cuales están sujetos a realidades económicas, políticas y ambientales, junto a las nuevas tecnologías del país. Así mismo, otro factor con incidencia es la intensidad energética en la producción de emisiones, lo que indica que las energías de origen fósil son las causantes de gran parte de las emisiones totales de las cuales el país es responsable.

El método LMDI se utilizó en su descomposición aditiva para evidenciar como las emisiones totales de CO_2 se han comportado a lo largo de 20 años. En

general, las emisiones con respecto al año base han aumentado en el sector transporte 5,56 Mt y en el sector industrial han disminuido 1,83 Mt. Esto se ha producido debido a la implementación de energías más limpias y alternativas para ser partícipe del cuidado del medio ambiente, como por ejemplo la inclusión de electricidad para la producción industrial, la implementación de centrales hidroeléctricas que se traduce en aportar de manera positiva a la reducción de la producción de gases de efecto de invernadero.

El Ecuador, aunque no es responsable de un aporte significativo de GEI a nivel global, no escatima esfuerzos para contribuir en la reducción de emisiones, por lo que propone la primera contribución determinada (NDC) a nivel nacional en su participación en el *Acuerdo de París*. En la NDC establece que uno de sus principios es generar mecanismos de mejora constante de los resultados y actividades. Con este antecedente, la evaluación que se propone mediante este estudio utilizando el LMDI permitirá tener una estimación cuantitativa del comportamiento de las emisiones de los sectores transporte e industrial que son los principales consumidores de energía.

Recomendaciones

Los resultados evidenciados por la descomposición

aditiva, utilizando el método LMDI, muestran una alternativa segura para la evaluación del comportamiento de emisiones de CO₂. Se recomienda evaluar por la descomposición multiplicativa para obtener variaciones porcentuales, por lo que queda abierta a futuras investigaciones.

Es importante que para lograr los objetivos del país en materia de reducción de emisiones de CO₂, se debe incluir a la electricidad como una alternativa de energía con mayor participación en el sector transporte.

Bibliografía

- Ang, . (1999). Is the energy intensity a less useful indicator than the carbon factor in the study of climate change? *Energy Policy*, 27(15), 943-946, doi:10.1016/S0301-4215(99)00084-1.
- Ang, B., & Choi, K. (1997). Descomposition of aggregate energy and gas emission intensities for industry: a refined Divisia index method. *The Energy Journal*, 10(3), 59-73, doi:10.5547/ISSN0195-6574-EJ-Vol18-No3-3.
- Arroyo, F. R., & Miguel, L. J. (2019). Análisis de la variación de las emisiones de CO₂ y posibles escenarios al 2030. *ESPACIOS*, 40(13), 1-18.
- Castesana, P., & Puliafito, S. (2013). Bottom-up analysis of energy consumption and carbon emissions, with particular emphasis on human capital investment. *Low Carbon Economy*, 4, 1-13, doi: 10.4236/lce.2013.44A001.
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe,. (2016). *Informe nacional de monitoreo de la eficiencia energética de la República del Ecuador*. Santiago: Naciones Unidas.
- Díaz, A. (19 de Octubre de 2021). *Statista*. Obtenido de <https://es.statista.com/estadisticas/635894/emisiones-mundiales-de-dioxido-de-carbono/#statisticContainer>
- Eggleston,. (2006). *Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero*. Japon: IGES. Obtenido de https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/pdf/1_Volume1/V1_0_Cover.pdf
- Fernández, P. (2012). *Técnicas de descomposición de variaciones basadas en índices de Divisia*. (Doctoral dissertation, Universidad de Oviedo), Oviedo. Retrieved from https://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/handle/10651/15132/TD_PaulaFG.pdf;jsessionid=28629243E4397BF5B8FFBE9871EC1662?sequence=1
- Gómez, D., Namayanga, L., Watterson, J., Americano, B., Ha, C., Marland, G., . . . Treanton, K. (2006). *Directrices del IPCC para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero*. Obtenido de https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/pdf/2_Volume2/V2_2_Ch2_Stationary_Combustion.pdf
- Gutiérrez, M., Medellín, P., Avila, A., Morales, J., & Chavira, M. (2019). Contribución de los subsectores manufactureros en la variación de las emisiones de CO₂ por el uso de combustible en San Luis Potosí, México. *Mexico. Acta Universitaria*, 29, 1-14, doi: 10.15174/au.2019.1920.
- Instituto de Investigación Geológico y Energético,. (2020). *Balance Energético Nacional 2019*. Quito.
- Juez, J. (2005). *Análisis y Evaluación de las emisiones de gases de efecto invernadero en la industria del petróleo*. (Doctoral dissertation, Universidad Politécnica de Madrid). Obtenido de <https://oa.upm.es/278/1/05200511.pdf>
- Mai, L., Ran, Q., & Wu, H. (2020). A LMDI descomposition analysis of carbon dioxide emissions from the electric power sector in Northwest China. *Natural Resource Modeling*, 33(4), 1-23, doi: <https://doi.org/10.1111/nrm.12284>.
- Merchan, J. (Junio de 2018). *Factores clave del cambio en el*

consumo de energía de España y su desacoplamiento con el crecimiento económico. Un análisis a nivel sectorial. Master's thesis Universidad de Sevilla, Sevilla. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/ <https://core.ac.uk/download/pdf/227043666.pdf>

Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos,. (2013). *Balance Energético Nacional 2012*. Quito.

Ministerio de Energía y Recursos Naturales no Renovables,. (2020). *Balance energético Nacional*. Quito.

Mousavi, B., López, N., Biona, J., Chiu, A., & Blesl, M. (2017). Driving Forces of Iran's CO₂ emissions from energy consumption: An LMDI descomposition approach. *Applied Energy*, 206, 804-814, doi: 10.1016/j.apenergy.2017.08.199.

Oscullo, J. (2017). Evolución de las Emisiones de CO₂ Producido por el Parque Generador del Sistema Nacional Interconectado del Ecuador. *Revista Técnica* 2017 (13), 191 - 195, doi:10.37116/REVISTAENERGIA.V13.N1.2017.21.

Robalino, A., & Anisenco, Z. (2017). Ecological, economical and technological aspects of development. Decomposition analysis of energy consumption related to CO₂ emissions in Ecuador. in *ENVIRONMENT. TECHNOLOGIES. RESOURCES. Proceedings of the International Scientific and Practical Conference, Vol 1*, 229-234, doi: 10.17770/etr2017vol1.2645.

Rodríguez, J., Ruiz, M., & Meneses, A. (2020). Revisión de los factores de emisión en las metodologías de huella de carbono en Colombia. *ESPACIOS*, 41(47), 74-84, doi:10.48082/espacios-a20v41n47p06.