

SECCIÓN III: ECONOMÍA Y SOSTENIBILIDAD EN AMÉRICA LATINA

IMPORTACIONES DE LOS DERIVADOS DE PETRÓLEO Y SU IMPACTO EN EL EFECTO INVERNADERO EN EL ECUADOR

Data de aceite: 01/11/2023

Luis Fernando Cedillo-Chalaco

Universidad Metropolitana del Ecuador,
Sede Machala
Machala, Ecuador
<https://orcid.org/0000-0002-3142-4485>

Cristina Fernanda Tabares-Cedillo

Universidad Metropolitana del Ecuador,
Sede Machala
Machala, Ecuador
<https://orcid.org/0009-0002-8039-5526>

René Santiago Romero-Solano

Universidad Metropolitana del Ecuador,
Sede Machala
Machala, Ecuador
<https://orcid.org/0009-0003-5273-9202>

presente investigación se plantea como objetivo, medir el impacto en términos de elasticidades de las importaciones de los derivados de petróleo (diésel y nafta de alto octano) sobre el efecto invernadero en el Ecuador; a través de la función (logarítmica) de producción de Cobb Douglas, a su vez que su metodología es de enfoque cuantitativo con alcance descriptivo y exploratorio, de corte transversal. Los principales resultados revelan que el diésel y la nafta de alto octano son factores importantes emisores de CO₂, aunque no son el verdadero problema.

PALABRAS-CLAVE: Efecto invernadero en Ecuador, diésel, nafta de alto octano, emisiones de CO₂, función Cobb-Douglas.

RESUMEN: Si bien es cierto, la industrialización sentó los cimientos del desarrollo económico y tecnológico de las ciudades en el mundo, así como el aumento de la calidad de vida de la civilización; esta trajo consigo cambios y desequilibrios importantes en los ecosistemas, y diversas maneras de contaminación al medio ambiente; causando la generación de gases de efecto invernadero, que hasta el año 2017 el 81.6% estuvo conformada por dióxido de carbono (CO₂); por tal, la

PETROLEUM DERIVATIVES IMPORTS AND THEIR IMPACT ON THE GREENHOUSE EFFECT IN ECUADOR

ABSTRACT: Although it is true, industrialization laid the foundations for the economic and technological development of cities in the world, as well as the increase in the quality of life of civilization; This brought with it important changes and imbalances in the ecosystems, and various ways of contaminating the environment; causing the

generation of greenhouse gases, which until 2017, 81.6% was made up of carbon dioxide (CO₂); Therefore, the objective of this research is to measure the impact in terms of elasticities of imports of petroleum derivatives (diesel and high octane naphtha) on the greenhouse effect in Ecuador; through the (logarithmic) production function of Cobb Douglas, in turn its methodology is quantitative with a descriptive and exploratory scope, cross-sectional. The main results reveal that diesel and high octane gasoline are important CO₂ emitting factors, although they are not the real problem.

KEYWORDS: Greenhouse effect in Ecuador, diesel, high-octane gasoline, CO₂ emissions, Cobb-Douglas function

JEL: Q54-Q58-Q43

INTRODUCCIÓN

Si bien es cierto, la industrialización sentó los cimientos del desarrollo económico y tecnológico de las ciudades en el mundo, así como el aumento de la calidad de vida de la civilización; esta trajo consigo cambios y desequilibrios importantes en los ecosistemas, y diversas maneras de contaminación al medio ambiente (Suárez & Molina, 2014); a tal punto que los entendidos en aras de darle importancia, la denominaron “cambio climático”; el cual, tiene como una de sus principales causas la emisión de gases de efecto invernadero (Foster y Elzinga, 2022; Rojas-Downing et al., 2017); que hasta el año 2017 el 81.6% estuvo conformada por dióxido de carbono (CO₂) (Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos, 2023).

El dióxido de carbono es un gas de efecto invernadero que se libera en grandes cantidades a través de la quema de combustibles fósiles como el petróleo y sus derivados, carbón y gas natural. Estos gases atrapan el calor en la atmósfera, lo que conduce al calentamiento global y a otras consecuencias negativas al entorno. En lo que respecta a los derivados de petróleo, estos son mezclas complejas de hidrocarburos que contienen carbono e hidrógeno en diferentes proporciones, como es el caso del diésel y la nafta de alto octano; que están compuestos principalmente por hidrocarburos alifáticos; aunque otros también pueden contener compuestos aromáticos y aditivos. Estos hidrocarburos, cuando se queman en presencia de oxígeno, liberan CO₂ como resultado de la oxidación del carbono. Durante décadas, el consumo de estos fósiles, han sido una fuente significativa de emisiones de CO₂; a tal punto que, Frohmann y Olmos (2013) exponen que:

Las emisiones mundiales de CO₂ aumentaron a un ritmo del 2,6% anual entre 1960 y 2011, casi cuadruplicándose desde 9.400 a 34.000 millones de toneladas. Esta fuerte alza se debe principalmente al aumento del uso de combustibles de origen fósil y también, aunque en menor medida, a los cambios en el uso de la tierra que resulta, por ejemplo, de la deforestación. (p. 12)

El diésel y la nafta de alto octano son derivados de petróleo muy utilizados en diversos sectores, como el transporte, la industria y la generación de energía (Oscullo, 2017). Estos

combustibles contienen carbono en su estructura molecular, y cuando se queman en los motores, liberan dióxido de carbono a la atmósfera. La combustión incompleta o ineficiente de estos combustibles también puede generar emisiones adicionales de otros gases de efecto invernadero, como el óxido de nitrógeno y los compuestos orgánicos volátiles, que contribuirán aún más al efecto invernadero.

Además de su contribución al cambio climático, los derivados de petróleo también emiten contaminantes atmosféricos que destruyen la calidad del aire y la salud humana. Los óxidos de nitrógeno y los compuestos orgánicos volátiles generados por la combustión de diésel y nafta pueden contribuir a la formación de smog y partículas en suspensión, que tienen efectos perjudiciales para la salud respiratoria y cardiovascular. Estos contaminantes también pueden ser precursores de otros contaminantes atmosféricos, como el ozono troposférico, que es un contaminante secundario dañino para la salud y el medio ambiente.

Las emisiones de CO₂ provenientes de la combustión de diésel y la nafta de alto octano son una de las principales fuentes antropogénicas de gases de efecto invernadero. Estas emisiones se acumulan en la atmósfera y atrapan el calor, lo que provoca un aumento de la temperatura global. El acrecentamiento de la concentración de CO₂ en la atmósfera es responsable del 63% del forzamiento radiactivo causado por las actividades humanas desde 1750, según el Quinto Informe de Evaluación del (IPCC, 2015). Este aumento en la temperatura tiene múltiples efectos, como el derretimiento de los casquetes polares, el aumento del nivel del mar y la evolución de los patrones climáticos.

En deriva de lo previamente expuesto, el objetivo de la presente investigación es medir el impacto en términos de elasticidades de las importaciones de los derivados de petróleo (diésel y nafta de alto octano) sobre el efecto invernadero en el Ecuador; a través de la función (logarítmica) de producción de Cobb Douglas.

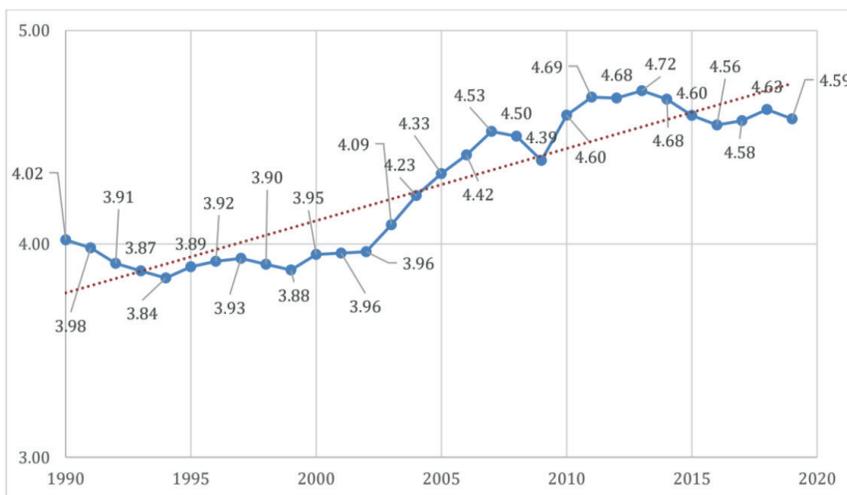
Evolución de las emisiones de CO₂: Mundo, América del Sur y Ecuador

De acuerdo con lo que pone de manifiesto la Agencia de la ONU para el cambio climático (2022); pese a que se ha avizorado una reducción del aumento de las proyecciones de las emisiones de CO₂ a nivel mundial, aún no es suficiente para mantener en los niveles menos catastróficos a los efectos del calentamiento global. Es más, el mismo reporte indica que, si bien las curvas de las proyecciones están empezando a bajar, los planes climáticos actuales muestran un aumento del 10.6%; que puede significar serias consecuencias en los países del mundo, en especial a los países más pobres, cálidos y de baja altitud (Tol, 2018). Un claro ejemplo de esto son los países de África, que debido a sus condiciones económicas y a las repercusiones por el cambio climático como efecto de las emisiones de CO₂, se prevén eventos de calor extremo, cambios en las precipitaciones, aumento en el nivel del mar hasta un metro para finales del siglo XXI, el acrecentamiento de las tasas de desnutrición y enfermedades infecciosas propias del continente, e incluso la migración de sectores rurales a urbanos (Serdeczny et al., 2017).

Bajo este mismo contexto global, según estadísticas presentadas por el Banco Mundial (2023), se atisba en la Figura 1, que desde el año 1990 (año a partir de donde se encuentran datos en dicho organismo), las emisiones per cápita de CO₂, han tenido una tendencia creciente, que ha ido de 4.02 hasta 4.59 en promedio, pese a que existen años que las emisiones de dicho contaminante estuvieron por debajo 4.0.

Figura 1.

Emisiones CO₂ (toneladas métricas per cápita) en el mundo, período 1990-2019

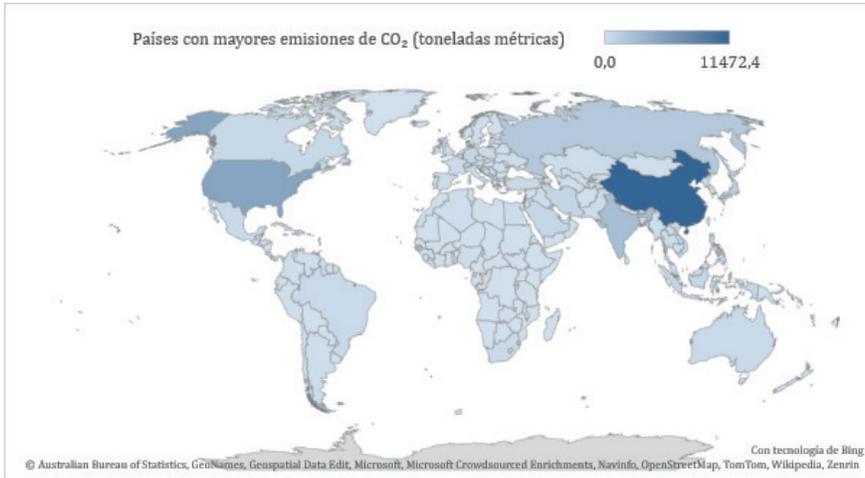


En adición al inciso anterior, los diez países con mayores emisiones de CO₂ en toneladas métricas en el mundo (Figura 2) derivados de los combustibles fósiles según con lo que pone de manifiesto el Global Carbon Atlas (2023), son: China (11472.4), Estados Unidos (5007.3), India (2709.7), Rusia (1755.5), Japón (1067.4), Irán (748.9), Alemania (674.8), Arabia Saudita (672.4), Indonesia (619.3) y Corea del Sur (616.1). En lo que respecta a China, que se postula como el país que más emisiones de CO₂ posee a nivel mundial, la causa se debe principalmente porque depende de la explotación del carbón para cubrir sus necesidades energéticas.

Además, genera las dos tercias partes de la producción total de energía con base en dicho mineral, lo que le significan recursos e ingresos para el impulso y fortalecimiento de su economía (Li et al., 2021). Es menester señalar que también es uno de los países que más impulsa políticas de mejoras y reducción de dichas emisiones para apalea la contaminación y cambio climático, aunque no son aún lo suficientes para reducir su aporte al efecto invernadero.

Figura 2.

Emisiones CO₂ (toneladas métricas per cápita) en el mundo, período 1990-2019



A nivel de América del Sur, en promedio, considerando un corte temporal que va de 1990 hasta el 2019, las emisiones de CO₂ se concentran o son más fuertes de acuerdo con la Tabla 1, con un valor de 11.33 toneladas métricas per cápita en Trinidad y Tobago; mientras que, el país con menores emisiones per cápita es Paraguay con 0.83 toneladas métricas.

Cabe señalar que, en el caso de Trinidad y Tobago, que manifiesta en promedio un mayor nivel de emisiones de CO₂ per cápita a comparación del resto de países de la región; esto se debe a que dicho país tiene un fuerte consumo energético con base en carbón. Mientras que, por su parte, Paraguay que presenta el menor promedio de emisiones de contaminantes de este tipo; es gracias a que su fuente energética es básicamente hidráulica y térmica. Aunque, para satisfacer las diferentes actividades de transporte (carga y pasajeros), la agricultura y construcción, usa primordialmente los derivados de petróleo, como el diésel y la nafta.

Por su parte, Ecuador -país foco de estudio en la presente investigación- presenta un nivel de emisiones promedio de CO₂ = 2.06, ubicándose en la séptima posición entre los 14 países considerados. Tal como se expresó en líneas anteriores, el mayor componente que genera las emisiones de CO₂, es la combustión o quema de los derivados de petróleo, y el Ecuador no es excepción; debido a que del total de la demanda energética del país para el año 2019 representó el 86.9%; que especialmente está dado por el diésel y gasolinas. En lo que respecta al consumo del sector del transporte, el 98.3% es con base en dichos derivados (Instituto de Investigación Geológico y Energético del Ecuador, 2022).

Tabla 1.

Promedio de emisiones CO₂ (toneladas métricas per cápita) de América del Sur, 1990-2019

País	Promedio emisiones CO ₂ toneladas métricas per cápita
Paraguay	0,83
Perú	1,28
Bolivia	1,38
Colombia	1,53
Uruguay	1,77
Brasil	1,83
Ecuador	2,06
Guyana	2,30
Guyana	2,30
Chile	3,61
Argentina	3,73
Surinam	3,90
Venezuela	5,28
Trinidad y Tobago	11,33

Nota: Datos tomados de (Banco Mundial, 2023)

Determinantes de emisiones de CO₂ para importaciones petroleras en Ecuador

En el apartado previo se puso en evidencia que las emisiones de CO₂, lejos de estabilizarse, con el paso de los años han experimentado un importante crecimiento; y esto se debe fundamentalmente al desarrollo de las economías de cada uno de los países alrededor del mundo (Fan et al., 2019); así como también al crecimiento de la población (que por satisfacer sus necesidades incrementan el uso de las energías), el uso de nuevas tecnologías, estructuras institucionales, formas de movilización (transporte), comercio internacional y el propio estilo de vida que llevan los habitantes (Alcántara y Padilla, 2021). En sentido similar Rodríguez (2018) expresa que otros factores a tomarse en cuenta la hora de examinar las emisiones de CO₂, son: intensidad de carbono, intensidad energética, estructura económica, ingresos y población.

En consonancia con lo expuesto, Dong et al. (2020) disertan que los principales impulsores de las emisiones de CO₂ son el crecimiento económico y el crecimiento de la población (especialmente en países con bajos recursos); a tal punto que durante el período de 1997 al 2015, el aumento de las emisiones fue casi del 50%. Cabe señalar, que, dichas emisiones son diferentes y tienen su particularidad en cada país; en especial, en aquellos que tienen distintos niveles de ingresos per cápita.

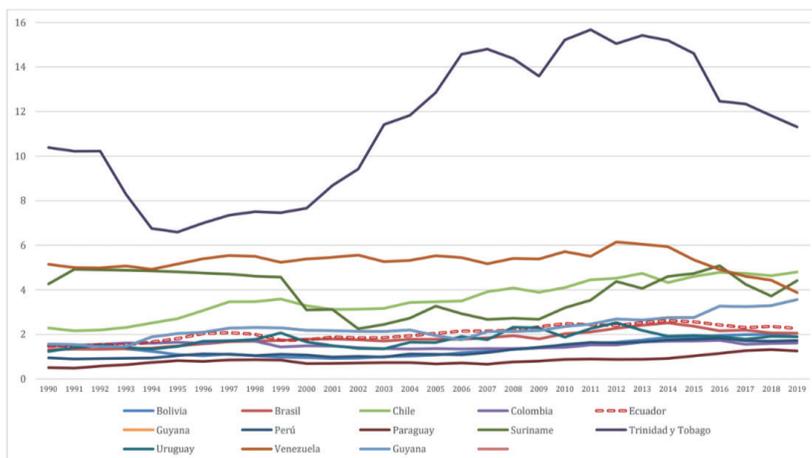
Tabla 2. Emisiones CO2 (toneladas métricas per cápita) de América del Sur, 1990-2019

Pais	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Argentina	3,07	3,20	3,22	3,24	3,24	3,23	3,46	3,52	3,66	3,67	3,57	3,34	3,10	3,33	3,66	3,74	3,92	4,08	4,15	3,85	4,10
Bolivia	1,47	1,50	1,51	1,35	1,24	1,09	1,04	1,12	1,05	0,97	0,96	0,92	0,93	1,00	1,03	1,07	1,18	1,24	1,33	1,39	1,48
Brasil	1,31	1,34	1,33	1,36	1,38	1,48	1,58	1,67	1,70	1,73	1,78	1,79	1,76	1,70	1,78	1,78	1,78	1,85	1,94	1,80	2,03
Chile	2,29	2,16	2,20	2,31	2,51	2,70	3,07	3,46	3,47	3,59	3,28	3,12	3,13	3,17	3,43	3,46	3,50	3,91	4,08	3,89	4,10
Colombia	1,49	1,52	1,55	1,61	1,61	1,65	1,60	1,72	1,70	1,44	1,49	1,48	1,40	1,37	1,35	1,37	1,35	1,37	1,36	1,40	1,42
Ecuador	1,48	1,47	1,54	1,52	1,66	1,81	2,04	2,08	2,01	1,74	1,75	1,89	1,85	1,85	1,93	2,05	2,15	2,15	2,19	2,34	2,49
Guyana	1,57	1,54	1,45	1,45	1,89	2,04	2,10	2,28	2,31	2,29	2,19	2,16	2,13	2,13	2,20	1,95	1,76	2,12	2,13	2,17	2,35
Perú	0,94	0,90	0,91	0,93	0,94	1,05	1,13	1,10	1,04	1,11	1,07	0,98	1,01	0,98	1,12	1,11	1,09	1,18	1,33	1,42	1,54
Paraguay	0,51	0,48	0,58	0,64	0,74	0,82	0,79	0,85	0,87	0,85	0,69	0,69	0,71	0,74	0,73	0,68	0,71	0,67	0,77	0,80	0,87
Surinam	4,26	4,92	4,89	4,88	4,85	4,80	4,75	4,71	4,62	4,57	3,09	3,12	2,25	2,45	2,73	3,27	2,93	2,67	2,73	2,68	3,20
Trinidad Y Tobago	10,39	10,22	10,23	8,29	6,76	6,59	7,00	7,35	7,50	7,46	7,66	8,68	9,42	11,42	11,83	12,85	14,57	14,80	14,38	13,59	15,21
Uruguay	1,23	1,39	1,51	1,42	1,34	1,46	1,69	1,71	1,77	2,07	1,66	1,50	1,37	1,36	1,65	1,63	1,91	1,76	2,32	2,29	1,87
Venezuela	5,15	4,99	4,98	5,07	4,92	5,16	5,40	5,54	5,50	5,23	5,38	5,46	5,56	5,27	5,32	5,53	5,44	5,17	5,41	5,39	5,71
Guyana	1,57	1,54	1,45	1,45	1,89	2,04	2,10	2,28	2,31	2,29	2,19	2,16	2,13	2,13	2,20	1,95	1,76	2,12	2,13	2,17	2,35

País	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Argentina	4,28	4,26	4,34	4,21	4,30	4,20	4,07	3,98	3,74
Bolivia	1,60	1,65	1,74	1,87	1,87	1,95	1,99	2,00	1,90
Brasil	2,11	2,27	2,41	2,51	2,37	2,16	2,19	2,06	2,05
Chile	4,45	4,52	4,74	4,33	4,60	4,78	4,74	4,63	4,80
Colombia	1,53	1,52	1,66	1,70	1,70	1,74	1,55	1,59	1,61
Ecuador	2,43	2,40	2,53	2,62	2,56	2,42	2,31	2,36	2,27
Guyana	2,46	2,69	2,64	2,75	2,75	3,27	3,24	3,29	3,56
Perú	1,64	1,62	1,66	1,75	1,78	1,83	1,72	1,70	1,73
Paraguay	0,89	0,87	0,88	0,92	1,03	1,15	1,27	1,31	1,26
Surinam	3,54	4,37	4,06	4,60	4,73	5,08	4,25	3,72	4,41
Trinidad y Tobago	15,67	15,04	15,41	15,19	14,61	12,46	12,34	11,82	11,31
Uruguay	2,26	2,53	2,18	1,92	1,95	1,91	1,78	1,91	1,89
Venezuela	5,50	6,15	6,05	5,94	5,34	4,91	4,61	4,43	3,88
Guyana	2,46	2,69	2,64	2,75	2,75	3,27	3,24	3,29	3,56

Figura 3.

Emisiones CO₂ (toneladas métricas per cápita) de América del Sur, 1990-2019

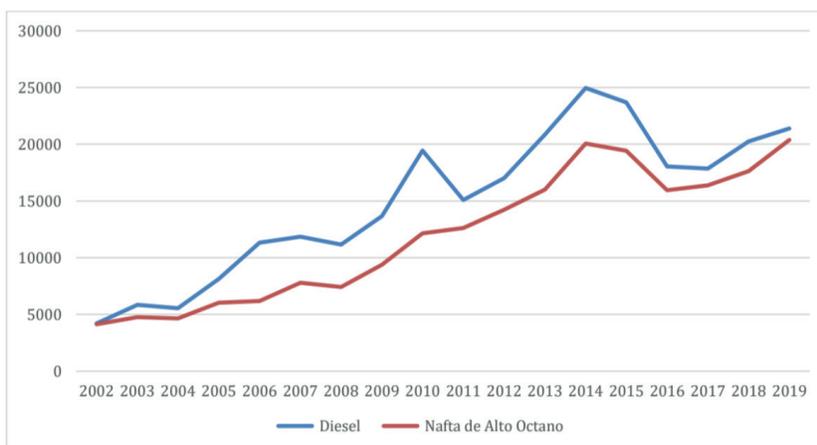


Por ejemplo, Ecuador, que posee una economía poco acelerada, es uno de los países de acuerdo con el ranking promedio per cápita que emite cantidades considerables de CO₂, y esto es, porque sus principales ingresos dependen especialmente de la explotación de combustibles fósiles, como el crudo de petróleo y sus derivados. A lo que se suma, con el fin de satisfacer la demanda de los diferentes sectores estratégicos, la importación de derivados de diésel y nafta de alto octano; a tal punto que, en lo que va del año 2023, la exportación de crudo con la importación de tales combustibles casi se ponderó iguales (diferencia mínima de 0.18%) (EL UNIVERSO, 2023).

Desde el año 2002 hasta el 2019, las importaciones de diésel y nafta de alto octano (variables tomadas para el análisis), han experimentado un crecimiento notable (Figura 4); que va desde los 4211 mil barriles de diésel en el 2002, hasta 21400 miles de barriles en el 2019. De modo similar la nafta de alto octano que parte con importaciones de 4138 miles de barriles, hasta 20384 miles de barriles. Es así, que de acuerdo al comportamiento que han venido experimentando ambos derivados en términos de importación, se presume gracias a su tendencia que, Ecuador aún se encuentra distante de reducir el consumo de dichos derivados que generan directamente el efecto invernadero; y esto a su vez es, por la aplicación fallida de algunas políticas económicas que no consiguieron modificar el uso tanto de transporte como de bienes de capital que utilicen energías limpias o alternativas menos contaminantes.

Figura 4.

Importaciones de diésel y nafta de alto octano en Ecuador, 2002 a 2019



Recomendaciones para la reducción de emisiones de CO₂

A vista de lo anterior, en un intento de frenar el efecto invernadero, los organismos gubernamentales nacionales e internacionales han pensado en proponer recomendaciones para la reducción de emisiones. A continuación, se ponen de manifiesto algunas recomendaciones que aplican algunos países, como Estados Unidos, China, Alemania, Canadá, etc. (Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos, 2023; CEPAL, 2015; Morrow III et al., 2015; Razmjoo et al., 2021; Solaymani, 2019; Hsiao-Tien y Chen, 2019):

- Generar proyectos de tecnologías que presupongan procesos eficientes sin la necesidad de exceder en el uso de derivados de combustibles fósiles.
- Aumentar la inversión en las refinerías, para que así los procesos de transformación del crudo de petróleo en sus distintos derivados no tengan efectos

altamente contaminantes.

- Aprovechamiento de los recursos hídricos, para la construcción de centrales hidroeléctricas.
- Impulsar proyectos de energía eólica en zonas que previo a estudios garanticen una energía más limpia y renovable, y sobre todo sustentable.
- Adquirir nuevas tecnologías energéticas con bajos niveles de emisiones, tal como la generación termoeléctrica a gas natural.
- Mejorar la aislación de los edificios y utilizar artefactos eléctricos más eficientes.
- Reducir el consumo personal de energía apagando luces y artefactos electrónicos cuando no se los está usando.
- Limitar el uso de vehículos que usen combustibles fósiles como el diésel o gasolina.
- Producir más energía a partir de fuentes renovables y utilizar combustibles con menos contenido de carbono.
- Utilizar tecnologías adecuadas que permitan la captura y secuestro del carbono, para evitar que llegue a la atmósfera.

METODOLOGÍA

El presente trabajo investigativo fue de carácter cuantitativo (Berger, 2018), con alcance descriptivo (Hernández et al., 2018) y exploratorio (Niño, 2019), de corte transversal (Spector, 2019). Puesto que, no se manipuló de forma deliberada ninguna de las observaciones de las variables tomadas en el periodo de tiempo foco de análisis, que estuvo comprendido desde el año 2002 hasta el 2019. Dichas variables fueron efecto invernadero, medida por las emisiones de CO₂ en kilotonnes, que funge como variable regresada (dependiente); importaciones de derivados de petróleo como: diésel y nafta de alto octano, medidas en miles de barriles, como variables regresoras (independientes).

Respecto al análisis estadístico que permitió cumplir con el objetivo planteado, y tomando en cuenta la forma funcional (elasticidades), se aplicará la función de producción de Cobb-Douglas; la cual es un modelo econométrico que basa su análisis en variables logarítmicas (modelo log-log) (Cedillo-Chalaco et al., 2018), que fue desarrollada por el economista Paul Douglas, y el matemático Charles Cobb en 1928 (Reynès, 2019).

En la actualidad goza de amplia utilización y popularidad (Jia et al., 2016; Kleyn et al., 2015); al igual que, facilidad en la interpretación de coeficientes, trabajabilidad y adecuación para presentar la relación entre las variables independientes y dependiente (Andaregie et al., 2020). A su vez, permite estimar el impacto individual de una variable independiente sobre otra dependiente, así como también de manera agregada (sumatoria de todos los factores/variables analizadas) (Smirnov y Wang, 2019); y su ecuación viene expresada de la siguiente forma (Gujarati y Porter, 2010; Jabbar, 2017):

$$\ln Y_i = \ln \beta_1 + \beta_2 \ln X_{2i} + \beta_3 \ln X_{3i} + \mu_i$$

De la ecuación anterior, al aplicar a las variables de estudio resulta:

$$\ln CO2_i - \ln \beta_1 + \beta_2 \ln Diesel_{2i} + \beta_3 \ln Nafta_{3i} + \mu_i$$

Para que el modelo tenga validez en su estimación (Cedillo-Chalaco et al., 2021) ponen de manifiesto que se deben cumplir con algunas especificaciones mínimas, tanto a nivel del modelo general (F-Fisher, probabilidad de F, y R²); como paramétrico (signo esperado y significancia estadística de los coeficientes <<probabilidad t >>) y supuestos de normalidad, homocedasticidad y baja multicolinealidad. Los datos se analizaron el software Stata 17.

RESULTADOS

De acuerdo con lo que expuso la data analizada en cuanto al modelo econométrico de la regresión de la función de producción de Cobb-Douglas, los datos seleccionados para explicar el impacto de las importaciones de diésel y nafta de alto octano sobre el efecto invernadero en Ecuador, se ajustan y predicen adecuadamente, a tal punto que, la varianza se ve explicada según el o coeficiente de determinación, en un 98.17%. A su vez que, dicha modelación es estadísticamente significativa, debido a que el valor de la F-Fisher es mayor que 1, y su probabilidad se pondera por debajo del umbral del 5% (Prob. = 0.000%). Por tanto, se da paso al análisis de los parámetros.

Tabla 3.
Estadístico del ajuste y significancia del modelo

R ²	F (Fisher)	Prob. F
0.9817	401.54	0.000

Con respecto a la estructura estadística de los parámetros o coeficientes del modelo ejecutado, se observa que, para el caso de ambas variables en términos logarítmicos, el signo (positivo) presentado es el esperado, en tanto que, de acuerdo con las bases teóricas que hacen alusión a las variables generadoras de efecto invernadero, estas provocan un impacto directamente proporcional. Dicha situación se corrobora en las Figura 5 y 6, que muestran mediante gráficos de dispersión que el aumento de una (elasticidades en el eje de las abscisas) genera el aumento de la otra (efecto invernadero). Además, cada uno de los parámetros regresores son estadísticamente significativo, a razón de que el valor de la probabilidad de t, se postula por debajo del 5%; rechazando así la hipótesis nula de no existencia de significancia estadística.

Figura 5.

Efecto invernadero (emisiones CO₂) en función de la elasticidad del diésel

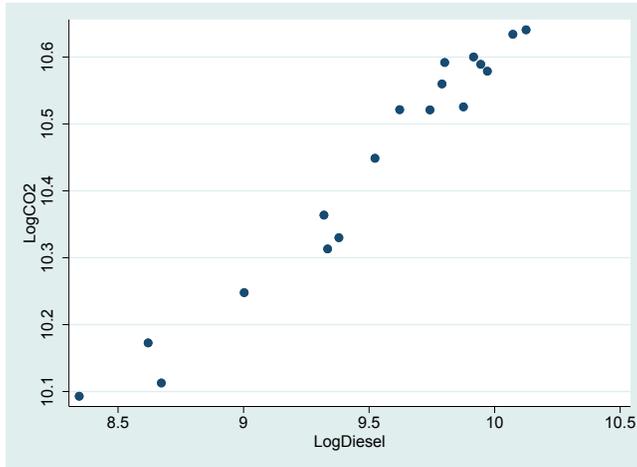
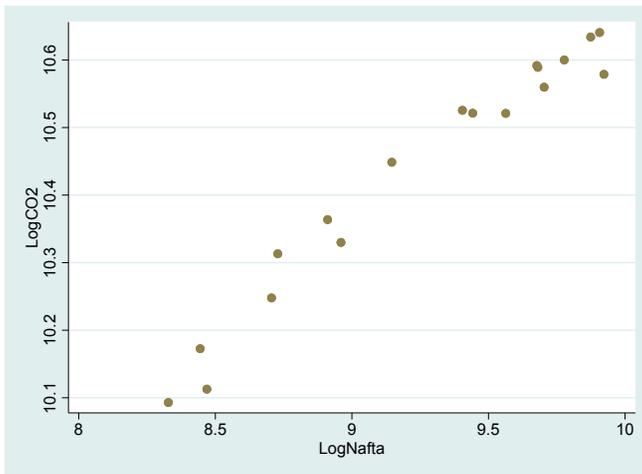


Figura 6.

Efecto invernadero (emisiones CO₂) en función de elasticidad de la nafta de alto octano



A vista de lo anterior, de acuerdo con el valor que presentaron cada uno de los coeficientes del modelo en términos de Cobb-Douglas para el caso ecuatoriano, se tiene que, en lo que refiere a la elasticidad del diésel, manteniendo lo demás constante, por cada 1% que aumenten las importaciones de este derivado de petróleo, el impacto hacia el incremento que tendrá sobre el efecto invernadero (emisiones de CO₂) será del 0.17% aproximadamente.

Situación similar acontecen con la elasticidad de la nafta de alto octano, que al mantener lo demás constante, cada que aumente en 1% su importación, significará un alza

en el efecto de invernadero de alrededor de 0.17%. Cabe señalar que, bajo la metodología de estimación econométrica utilizada en este estudio, el valor de las constante no tiene significado económico, por ende, se lo obvió como parte del análisis.

Tabla 4.

Valores de parámetros del modelo de regresión lineal en términos de Cobb-Douglas

	Variables	Coficiente	P> t
Modelo Cobb-Douglas	InDiesel	0.1705	0.001
	InNafta	0.1687	0.001
	Constante	72.542	0.00

$$\widehat{\ln CO2}_t = 7.2542 + 0.1705 \ln Diesel_{2t} + 0.1687 \ln Nafta_{3t} + \mu_i$$

Complementariamente, para que el modelo estructurado tenga validez en la estimación y robustez estadística, es necesario que cumpla con los principales supuestos señalados anteriormente: normalidad, homocedasticidad y baja multicolinealidad. Para el caso de la normalidad, su probabilidad estadística o su valor de p, tiene que ser mayor al 5%; debido a que la hipótesis nula para este tipo de supuesto, parte de que existe tal condicionamiento, y de acuerdo con la prueba Jarque Bera (Thadewald y Büning, 2007), los residuos del modelo son normales, ya que el p-valor fue de 59.26%; lo que significa que los residuos del modelos siguen una distribución normal, avalando que la estimación obtenida es eficiente en los parámetros (Schmidt & Finan, 2018).

Por su parte, el supuesto de homocedasticidad probada con la descomposición de Cameron-Trivadi (Sandahl et al., 2021), reveló una probabilidad de chi2 del 47.72%, representando la aceptación de la hipótesis nula de existencia de homocedasticidad, y por tal, la varianza de los errores es constante en todos los niveles de las variables predictoras (elasticidades de diésel y nafta de alto octano). Por último, el supuesto de multicolinealidad calculado por el valor del VIF (factor inflado de la varianza) fue de 12.34, que de acuerdo con lo que menciona Belsley et al. (1980) citado por Thompson et al. (2017), al no estar en el rango de 20 y 30, o ser mayor a 30, no existen problemas de multicolinealidad; dicho de otro modo, no habrá dificultad en la replicabilidad y estabilidad del modelo propuesto y estimado.

Tabla 5.

Valores de los supuestos estadísticos del modelo de regresión lineal en términos de Cobb-Douglas

Jarque Bera Normalidad	Descomposición Cameron-Trivadi Homocedasticidad	VIF Multicolinealidad
0.5926	p= 0.4772	12.34

CONCLUSIONES

Si bien es cierto, a nivel del Ecuador con el paso de los años la dependencia de los combustibles fósiles en vez de irse desarraigando va en aumento, a tal punto que, las importaciones de derivados de petróleo como el diésel y la nafta de alto octano han experimentado un crecimiento considerable de aproximadamente 408% y 393%, de manera respectiva en el corte temporal de 2002 hasta el 2019. Lo que significa presumiblemente, que pese a ser una economía de moderado crecimiento acota significativamente a las emisiones de CO₂.

A vista de los resultados, el modelo planteado de Cobb-Douglas puso de manifiesto que, las emisiones de CO₂, como factor principal del efecto invernadero, se ve explicado de forma significativa por las importaciones de diésel y nafta de alto octano; al punto que los datos en términos de logaritmos se ajustan y predicen en 98.17%.

En deriva de lo anterior, los valores de los coeficientes estimados muestran que, si bien es cierto, el logaritmo de las importaciones de diésel y la nafta de alto octano influyen de manera significativa a las emisiones de CO₂, su impacto no es lo suficientemente fuerte; debido a que, por cada 1% que aumenten las importaciones en miles de barriles de petróleo solo generarán de forma similar un crecimiento en las emisiones de aproximadamente 0.17%; lo que se traduce a una variación inelástica. Es decir, las emisiones se muestran poco sensibles a los cambios, a pesar de ser importantes.

Finalmente, es menester poner de manifiesto que, para ampliar y pormenorizar el análisis a su vez que se dejan abiertas nuevas aristas investigativas, se deben introducir otras variables que provoquen la emisión de CO₂; y así apreciar donde radican los puntos críticos para que se genere el efecto invernadero en Ecuador; ya que, las importaciones que, si bien son variables importantes emisoras de tal contaminante, no son el verdadero problema de este.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo es respaldado y aporta al proyecto de investigación “Determinantes económicos para el mejoramiento competitivo de la cadena logística de los operadores de comercio exterior en la Zona 7 del Ecuador”, de la carrera de Logística y Transporte de la Universidad Metropolitana Sede Machala.

REFERENCIAS

Agencia de la ONU para el cambio climático. (26 de Octubre de 2022). *Naciones Unidas: Noticias ONU*. Obtenido de Los países son incapaces de doblar la curva de las emisiones: el CO₂ y el metano marcan un récord histórico: <https://news.un.org/es/story/2022/10/1516392>

Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos. (Junio de 2023). *Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos*. Obtenido de [https://espanol.epa.gov/la-energia-y-el-medioambiente/emisiones-de-dioxido-de-carbono#:~:text=El%20di%C3%B3xido%20de%20carbono%20\(CO,las%20actividades%20del%20ser%20humano.](https://espanol.epa.gov/la-energia-y-el-medioambiente/emisiones-de-dioxido-de-carbono#:~:text=El%20di%C3%B3xido%20de%20carbono%20(CO,las%20actividades%20del%20ser%20humano.)

Alcántara, V., & Padilla, E. (2021). Análisis de las emisiones de CO₂ y sus factores explicativos en las diferentes áreas del mundo. *Revista de Economía Crítica*, 2(4), 17-37. Obtenido de <https://www.revistaeconomicacritica.org/index.php/rec/article/view/377/368>

Andaregie, A., Worku, A., & Astatkie, T. (2020). Analysis of economic efficiency in charcoal production in Northwest Ethiopia: A Cobb-Douglas production frontier approach. *Trees, Forests and People*, 2, 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.tfp.2020.100020>

Banco Mundial. (Junio de 2023). *Datos del Banco Mundial*. Obtenido de <https://datos.bancomundial.org/indicador/EN.ATM.CO2E.PC>

Belsley, D., Kuh, E., & Welsch, R. (1980). *Regression Diagnostics: Identifying Influential Data and Sources of Collinearity*. New York: Wiley.

Berger, A. (2018). *Media and communication research methods: An introduction to qualitative and quantitative approaches*. London UK: SAGE Publication.

Cedillo-Chalaco, L., Campuzano, J., Jumbo, M., & Torres, M. (2021). Crecimiento económico ecuatoriano: contraste entre “La revolución ciudadana” y los gobiernos. *ECA Sinergia*, 12(2), 38-49. Obtenido de <https://www.redalyc.org/journal/5885/588569075004/movil/>

Cedillo-Chalaco, L., Jumbo, M., & Campuzano, J. (2018). Crecimiento económico del Ecuador: análisis econométrico desde Cobb Douglas, período 1990-2016. *ESPACIOS*, 39(47), 6-12. Obtenido de <https://www.revistaespacios.com/a18v39n47/a18v39n47p06.pdf>

CEPAL. (2015). *Fiscalidad y cambio climático: El caso de Ecuador*. Buenos Aires: CEPAL. Obtenido de <https://www.cepal.org/sites/default/files/events/files/doloresalmeida.pdf>

Dong, K., Hochman, G., & Timilsina, G. (2020). Do drivers of CO₂ emission growth alter overtime and by the stage of economic development? *Energy Policy*, 140, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2020.111420>

EL UNIVERSO. (14 de Abril de 2023). *EL UNIVERSO*. Obtenido de <https://www.eluniverso.com/noticias/economia/la-importacion-de-combustibles-ya-casi-iguala-a-la-exportacion-de-crudo-nota/>

Fan, J.-L., Da, Y.-B., Wan, S.-L., Zhang, M., Cao, Z., Wang, Y., & Zhang, X. (2019). Determinants of carbon emissions in ‘Belt and Road initiative’ countries: A production technology perspective. *Applied Energy*, 239, 268-279. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.01.201>

Foster, S., & Elzinga, D. (2022). *Naciones Unidas*. Obtenido de Crónica ONU: <https://www.un.org/es/chronicle/article/el-papel-de-los-combustibles-fosiles-en-un-sistema-energetico-sostenible>

Frohmann, A., & Olmos, X. (Diciembre de 2013). *Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL)*. Obtenido de <https://www.cepal.org/sites/default/files/publication/files/4101/S2013998rev1.pdf>

Global Carbon Atlas. (2023). *Global Carbon Project*. Obtenido de <https://globalcarbonatlas.org/emissions/carbon-emissions/>

Gujarati, D., & Porter, D. (2010). La función de producción Cobb-Douglas: más sobre la forma funcional. En D. Gujarati, & D. Porter, *Econometría* (pág. 207). México, D.F.: McGraw Hill.

Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2018). *Metodología de la investigación*. México D.F.: McGraw Hill.

Hsiao-Tien, P., & Chen, C.-C. (2019). Decoupling strategies: CO2 emissions, energy resources, and economic growth in the Group of Twenty. *Journal of Cleaner Production*, 206, 907-919. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.09.190>

Instituto de Investigación Geológico y Energético del Ecuador. (2022). *Consumo eléctrico por habitante continúa creciendo en Ecuador*. Obtenido de <https://www.geoenergia.gob.ec/consumo-electrico-por-habitante-continua-creciendo-en-ecuador/#:~:text=Del%20total%20producido%2C%2086%2C9,e%3%B3lica%2C%20fotovoltaica%20y%20biog%C3%A1s>.

IPCC. (2015). *Cambio climático 2014: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo*. Genève 2, Suiza: Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, 2015. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR_AR5_FINAL_full_es.pdf

Jabbar, J. (2017). The impact of migrant labors on Russian economy: production function approach. *R-Economy*, 3(2), 90-102. <https://doi.org/10.15826/recon.2017.3.2.011>

Jia, S., Long, Q., Yu Wang, R., Yan, J., & Kang, D. (2016). On the inapplicability of the Cobb-Douglas production function for estimating the benefit of water use and the value of water resources. *Water Resources Management*, 30, 3645–3650. <https://doi.org/10.1007/s11269-016-1349-z>

Kleyn, J., Arashi, M., Bekker, A., & Millard, S. (2015). Preliminary testing of the Cobb–Douglas production function and related inferential issues. *Journal*, 469-488. <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/03610918.2014.968724>

Li, Z.-Z., Yi Man, R., Yousaf, M., Murshed, M., Khan, Z., & Umar, M. (2021). Determinants of Carbon Emission in China: How Good is Green Investment? *Sustainable Production and Consumption*, 27, 392-401. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2020.11.008>

Morrow III, W., Marano, J., Hasanbeigi, A., Masanet, E., & Sathaye, J. (2015). Efficiency improvement and CO2 emission reduction potentials in the United States petroleum refining industry. *Energy*, 93(1), 95-105. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.08.097>

Niño, V. (2019). *Metodología de la investigación: diseño, ejecución e informe*. Bogotá: Ediciones de la U.

Oscullo, J. (2017). Evolución de las Emisiones de CO2 Producido por el Parque Generador del Sistema Nacional Interconectado del Ecuador para el Periodo 2010-2015. *Revista Técnica “energía”*, 13(1), 191–195. <https://doi.org/10.37116/revistaenergia.v13.n1.2017.21>

Razmjoo, A., Kaigutha, G., Vaziri, M., Marzband, M., Davarpanah, A., & Denai, M. (2021). A Technical analysis investigating energy sustainability utilizing reliable renewable energy sources to reduce. *Renewable Energy*, 164, 46-57. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.09.042>

Reynès, F. (2019). The Cobb–Douglas function as a flexible function: A new perspective on homogeneous functions through the lens of output elasticities. *Mathematical Social Sciences*, *97*, 11-17. <https://doi.org/10.1016/j.mathsocsci.2018.10.002>

Rodríguez, M. (2018). *Análisis de los principales impulsores de las emisiones de CO2 en diferentes economías: los casos de España y Chile*. Sevilla: Universidad de Sevilla. <https://idus.us.es/handle/11441/76275>

Rojas-Downing, M., Nejadhashemi, P., Harrigan, T., & Woznicki, S. (2017). Climate change and livestock: Impacts, adaptation, and mitigation. *Climate Risk Management*, *16*, 145-163. <https://doi.org/10.1016/j.crm.2017.02.001>

Sandahl, H., Baandrup, L., Vindbjerg, E., Jennum, P., & Carlsson, J. (2021). Social zeitgebers and circadian dysrhythmia are associated with severity of symptoms of PTSD and depression in trauma-affected refugees. *European Archives of Psychiatry and Clinical Neuroscience*, *271*, 1319–1329. <https://doi.org/10.1007/s00406-021-01266-8>

Schmidt, A., & Finan, C. (2018). Linear regression and the normality assumption. *Journal of Clinical Epidemiology*, *98*, 146-151. <https://doi.org/10.1016/j.jclinepi.2017.12.006>

Serdeczny, O. A., Baarsch, F. C., Robinson, A., Hare, W., Schaeffer, M., Perrette, M., & Reinhardt, J. (2017). Climate change impacts in Sub-Saharan Africa: from physical changes to their social repercussions. *Regional Environmental Change*, *17*, 1585–1600. <http://dx.doi.org/10.1007/s10113-015-0910-2>

Smirnov, R., & Wang, K. (2019). The Cobb-Douglas Production Function Revisited. En D. Kilgour, H. Kunze, R. Makarov, R. Melnik, & X. Wang, *Recent Developments in Mathematical, Statistical and Computational Sciences* (págs. 725–734). Springer Proceedings. https://doi.org/10.1007/978-3-030-63591-6_66

Solaymani, S. (2019). CO2 emissions patterns in 7 top carbon emitter economies: The case of transport sector. *Energy*, *168*, 989-1001. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.11.145>

Spector, P. (2019). Do Not Cross Me: Optimizing the Use of Cross-Sectional Designs. *Journal of Business and Psychology*, *34*, 125–137. <https://doi.org/10.1007/s10869-018-09613-8>

Suárez, S., & Molina, E. (2014). El desarrollo industrial y su impacto en el medio ambiente. *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*, *52*(3), 357-363. <http://scielo.sld.cu/pdf/hie/v52n3/hig08314.pdf>

Thadewald, T., & Büning, H. (2007). Jarque–Bera test and its competitors for testing normality - A power comparison. *Journal of Applied Statistics*, *34*(1), 87-105. <https://doi.org/10.1080/02664760600994539>

Thompson, C., Kim, R., Aloe, A., & Becker, B. (2017). Extracting the variance inflation factor and other multicollinearity diagnostics from typical regression results. *Basic and Applied Social Psychology*, *39*(2), 81-90. <https://doi.org/10.1080/01973533.2016.1277529>

Tol, R. (2018). The Economic Impacts of Climate Change. *Review of Environmental Economics and Policy*, *12*(1), 1-22. <https://doi.org/10.1093/reep/rex027>