

Variables generadoras de CO₂ en el sector transporte e industria del Paraguay

CO₂ generating variables in the Transport and industry sector of Paraguay

Revista sobre estudios e investigaciones del saber académico

Virgilio Noel Benítez Brítez ¹ <https://orcid.org/0000-0002-7707-2753>¹ Universidad Nacional de Itapúa. Dirección de Investigación y Ambiente. Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas, Encarnación, Paraguay.

vbenitez@uni.edu.py

José Romero-Puente ² <https://orcid.org/0000-0002-0050-3914>² Universidad de Valladolid. romeropuentejd@gmail.com

Resumen

Las acciones con relación al cambio climático forman parte de los objetivos de las Naciones Unidas. Frenar el avance del incremento de la temperatura media mundial es responsabilidad de todos los países del mundo. Paraguay, a pesar de no ser un gran emisor de dióxido de carbono, será por su ubicación geográfica y sus altas temperaturas, uno de los países más afectados por el cambio climático, razón por la cual, deberá acompañar con vigor las reducciones de las emisiones de los gases de efecto invernadero. Es por eso, que esta investigación tiene como objetivo, analizar las variables de emisiones de Dióxido de carbonos emitidos por los sectores de transporte e industria en el Paraguay, como consecuencia del aumento de la población, crecimiento económico, intensidad y precios de petróleo. Las variables tienen comportamientos distintos en cada uno de los sectores. El incremento del PIB per Cápita genera cambios más importantes en las emisiones de Dióxido de carbono en el sector de transporte que en el industrial. Sin embargo, en el sector Industria, el incremento de la población ha sido una variable más sensible en la generación de Dióxido de carbono con relación al sector de transporte. Finalmente, se presentan los resultados que se extrajeron mediante modelos de regresión múltiple, utilizando métodos de Mínimos Cuadrados Ordinarios y Mínimos Cuadrados Generalizados.

Palabras clave: Dióxido de Carbono. Transporte. Industria. Cambio Climático.

Abstract

Actions related to climate change are part of the United Nations objectives. Stopping the increase of the global average temperature is a responsibility that belongs to all of the countries in the world. Paraguay, despite not being a major emitter of carbon dioxide, due to its geographical location and high temperatures it will be one of the countries most affected by climate change, which is why it must vigorously accompany the reductions in emissions of greenhouse effect gases. That is why this research aims to analyze the variables of carbon dioxide emissions emitted by the transport and industry sectors in Paraguay. as a consequence of population growth, economic growth, intensity and oil prices. The variables have different behaviors in each sector. The increase in GDP per Capita generates more important changes in carbon dioxide emissions in the transport sector than in the industry sector. However, in the industry sector, the increase in population has been a more sensitive variable in the generation of carbon dioxide in relation to the transport sector. Finally, the results obtained through multiple regression models are presented, using Ordinary Least Squares and Generalized Least Squares methods.

Keywords: Carbon Dioxide. Transport. Industry. Climate change.

Área del conocimiento: Comercio y Administración

Correo de Correspondencia: vbenitez@uni.edu.py

Conflictos de Interés: Los autores declaran no tener conflictos de intereses.

 Este es un artículo publicado en acceso abierto bajo una licencia Creative Commons CC-BY

Fecha de recepción: 15/01/2022

Fecha de Aprobación: 26/09/2022

Página Web: <http://publicaciones.uni.edu.py/index.php/rseisa>

Citación recomendada: Benítez Brítez, V. N.; Romero Puente, J. (2023). Variables Generadoras de CO₂ en el sector transporte e industria del Paraguay. Revista sobre estudios e investigaciones del saber académico (Encarnación), 17(17): e2023004

Introducción

Cada vez más crece el interés de investigadores y académicos por el estudio referido al fenómeno del cambio climático. Del mismo modo, el tema se posiciona y gana espacio en las agendas políticas de los gobiernos a nivel global (Qin et al., 2007). El esfuerzo para contrarrestar dicho fenómeno está siendo asumido tanto, por países desarrollados como por los países en desarrollo (Adedoyin, Gumede, Bekun, Etokakpan, & Balsalobre-lorente, 2020)

En este sentido, es evidente el consenso que hay entre los gobiernos para aceptar que el cambio climático significa una seria amenaza, no solo para la salud de las personas, sino también, para el crecimiento económico, la conservación de especies y ecosistemas. (Heede, R. 2014)

El cambio climático antropogénico se origina por acciones del hombre, como la producción del arroz, la ganadería, una fábrica de cementos e incluso actividades pequeñas como ir al trabajo en coche o encender el ordenador, puesto que todos ellos generan distintos tipos de gases como el dióxido de carbono, metano, óxido nitroso, además de otros tipos de gases. Los mismos son los que provocan el cambio climático, puesto que actúan como invernadero, es decir, permiten que la radiación solar llegue al planeta, pero no dejan que el calor resultante salga. Esto hace que la temperatura media del planeta se vaya incrementando con el tiempo (Sachs 2013).

Por otra parte, la literatura ha señalado sobre el desentendimiento de países emergentes con relación al cambio climático (para no sacrificar sus crecimientos económicos), sin embargo, la importancia que le debieran dar debe ser mayor pues, finalmente, serán ellos los que asuman los costes adicionales (Yunus, 2018). Por tal razón, las acciones de los gobiernos en los países en desarrollo ante el inminente riesgo que genera el cambio climático no se deben hacer esperar y, por el contrario, deben aplicarse con celeridad en consecuencia a la dimensión real del problema.

No obstante, hacer frente a tal situación provocada por el cambio climático, conlleva aplicar políticas que pueden ir en “detrimento” de la economía de los países en desarrollo (Bowen; Cochrane; Fankhauser, 2012), y generarles “mayor ralentización” en la transición

económica hacia la industrialización. De allí que, los responsables de formular las políticas de conservación ambiental y sostenibilidad en los países en desarrollo se encuentran ante un reto de carácter mayúsculo para lograr el equilibrio entre el avance de la lucha frente al cambio climático y el crecimiento económico.

Sin embargo, se hacen evidentes las dificultades que se presentan dentro de las estructuras gubernamentales propias de un país en desarrollo y en los procesos de formulación de políticas públicas. De acuerdo con (Ryan y Bustos, 2019), una de las principales razones de estas dificultades es la “brecha de conocimiento”, que se refieren a “la falta específica de conocimientos y a los problemas en la apropiación y uso de ese conocimiento para propósitos políticos”.

De acuerdo con estos autores se evidencian un déficit de conocimiento en el área del análisis de políticas públicas, siendo muy relevante en relación con la efectividad de las políticas de adaptación al cambio climático, relacionada con el diseño, implementación y evaluación de la política. Por lo tanto, se debe realizar un esfuerzo en fortalecer la rigurosidad en la investigación de las disciplinas que se encargan de los estudios y análisis de políticas públicas para que, a su vez, los técnicos encargados de aplicar las políticas (contra el cambio climático y cualesquier otra) tengan apoyo científico y especializado que respalde su gestión.

Los autores continúan diciendo que, los problemas en los procesos de coproducción de conocimiento, sobre cuestiones climáticas no se sustentan en el tiempo, lo que habla de la falta de procesos institucionalizados de formulación de políticas. En este sentido, es clave adoptar políticas con una visión de largo plazo, que supere el reto de la agenda del periodo de los gobiernos de turno (Ryan y Bustos 2019)

Finalmente, los mismos autores señalan la falta de capacidades del aparato estatal, relacionado con la falta de recursos humanos y técnicos suficientes y calificados por parte de las agencias gubernamentales. Este es un factor clave que influye en la habilidad del estado para hacer un adecuado uso del conocimiento en el proceso de políticas públicas de adaptación climática (Ryan y Bustos 2019). Los esfuerzos deben estar encaminados a fortalecer el nivel educativo, que puede generar, actividades de investigación e

innovaciones y, estos a su vez, conciencia ambiental y el descubrimiento de soluciones para el tránsito a energías renovables (Zafar, Shahbaz, Sinha, Sengupta y Qin, 2020).

De tal manera, el reto y afectación para el grupo de países en desarrollo, es mayor que para los países de ingresos altos (Bowen, Cochrane, Fankhauser, 2012) contrariamente a la “ley de la siembra y la cosecha”. En otras palabras, los países industrializados mayormente responsables de la contaminación sufren consecuencias menores pese a largos años de generar desarrollo mediante la utilización de combustibles fósiles, que son la principal fuente de gases de efecto invernadero. En esta línea, se ha estudiado por parte de los académicos la relación causal entre el crecimiento económico y las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) (Odhiambo, 2016; Ang, 2007), concluyendo que existen relaciones tanto bidireccionales como unidireccionales entre el consumo de energía y el crecimiento económico.

En el mismo sentido, (Banerjee y Duflo, 2020) expresan que el cambio climático es verdaderamente injusto, pues, gran parte de la contaminación fue generada por los países ricos (Estados Unidos y los países de Europa Occidental), ya sea durante la producción de bienes, o bien, en el consumo de productos realizados en otras latitudes. Sin embargo, como bien se ha dicho anteriormente, el costo será principalmente para aquellos países pobres de Latinoamérica y África.

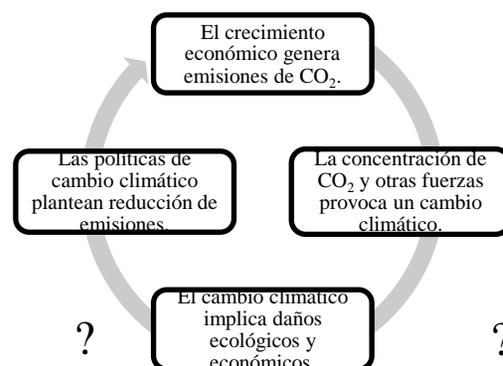
En octubre de 2019, el ministro de Hacienda de Paraguay, Benigno López, anunció una recesión económica luego de 20 años de crecimiento cuasi constante (Agencia EFE 2019). Las explicaciones del gobierno estaban orientadas al factor climático. Tanto la sequía en una primera etapa y luego las inundaciones afectaron la producción en la agricultura y la ganadería de Paraguay. Incluso, las inundaciones formaban parte de las justificaciones del gobierno por la baja ejecución presupuestaría en el sector de obras públicas para atenuar el impacto económico a través de una política expansiva mediante el gasto público.

Es así como las secuelas de la variación del clima manifiestas en el incremento de la temperatura media seguirán impactando a las economías más pobres que se encuentran cerca de la línea del ecuador, debido a

sus altas temperaturas (Banerjee y Duflo, 2020). En ese sentido, las alteraciones de las precipitaciones a consecuencia del cambio climático podrían afectar la productividad agrícola, principalmente en los lugares calurosos (Sachs, 2013).

La figura 1 presenta el Flujo Circular del Cambio Climático de (Nordhaus, 2019). En una primera parte, el crecimiento económico sin cambios en las matrices de producción seguirá generando mayores gases de efecto invernadero. Estos gases se quedarán en la atmósfera, provocando el incremento de la temperatura media, lo que ocasionará un inmenso costo tanto ambiental como económico (recesiones debido a la reducción de la producción). Con la intervención estatal se podría lograr un avance más lento del incremento de la temperatura media en el planeta y por otra parte no sacrificar el crecimiento económico.

Figura 1.
Flujo Circular del Cambio Climático.



Fuente: (Nordhaus, 2019, p.24).

Para que se tenga un crecimiento económico sin generar grandes alteraciones en la temperatura media, deberá haber una armónica intervención de todos los países del mundo. Es por eso, que tanto (Nordhaus, 2019) como (Banerjee y Duflo, 2020) señalan que la situación del cambio climático no se resolverá con la “mano invisible”. Es decir, los problemas ambientales en el mundo, no se solucionarán solamente con las fuerzas del mercado.

Aunque, en ese sentido, no se pueden generar intervenciones en el mercado a través de políticas públicas sin tener precisiones de cómo actúan distintas variables en los sectores económicos del Paraguay. Se ha tenido crecimiento económico en muchos países del

mundo y éstos han podido reducir sus emisiones de gases contaminantes (Díaz y Cancelo, 2010; Nordhaus, 2019).

Es así que esta investigación quiere dar respuesta a la primera parte del Flujo Circular del Cambio Climático, es decir, analizar los factores que generan las emisiones de dióxido de carbono en los sectores económicos de transporte e industria del Paraguay.

Por tal motivo se realizó la estimación de los parámetros de cada una de las variables, y la comparación de los parámetros de cada una de las variables en ambos sectores, durante el periodo de 1970 a 2014.

Materiales y métodos

Se utilizó la metodología hipotética deductiva (conocida también como método falsacionista), atendiendo que esto permite corroborar o rechazar las teorías, hacer predicciones, y a la vez explicaciones sobre las predicciones.

Esta investigación es correlacional y cuantitativa. Todos los datos utilizados fueron extraídos del Data World Bank, salvo los precios del petróleo cuya fuente fue OPEC; en2x. Las observaciones abarcan desde el año 1970 hasta el año 2014.

A partir de los datos se elaboraron modelos de regresión que permitieron analizar las variables que generan las emisiones de los dióxidos de carbono en el sector de transporte e industria en base a los parámetros de las variables: Producto Interno Bruto per cápita, Población, Intensidad (emisiones de gases de efecto invernadero en Paraguay/ Producto Interno Bruto con año base 2010) y Precios de Petróleo.

Sector transporte

Esta investigación busca comprender a los distintos factores que generan las emisiones de CO₂ en los sectores económicos de transporte e industria del Paraguay. Se basó en el modelo de (Díaz y Cancelo, 2010) que se detalla a continuación:

$$d \log E_{j,t} = \beta_{0j} + \beta_{1j} d \log PIBH_{j,t} + \beta_{2j} \log PIBH_{j,t-1} + \beta_{3j} TCNUEC_{j,t} + \beta_{4j} \log POBKM_{j,t} + \beta_{5j} d \log PREOIL_{j,t}$$

Donde:

E= emisiones de dióxido de carbono

PIBH= PIB per cápita

POBKM= Densidad poblacional

PREOIL= Precios del petróleo

TCNUEC= peso de la energía nuclear sobre el consumo de energía primaria

Para la elaboración de este estudio, no se tuvo en cuenta la variable TCNUEC. Sin embargo, incorpora la variable Intensidad incluida en la ecuación de Kaya. Esta ecuación o identidad denominada Kaya es utilizada para explicar los factores que promueven el crecimiento del CO₂.

Por lo tanto, las emisiones de CO₂ del sector transporte resultan de sumar PIB per cápita + la Población + la Intensidad de uso de carbono relacionados al PIB + Precio del petróleo. Es decir:

$$Y = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 X1 + \hat{\beta}_2 X2 + \hat{\beta}_3 X3 + \hat{\beta}_4 X4,$$

Cada uno de estos términos fueron estimados a través de:

$$\hat{\beta}_0 = \bar{y} - \hat{\beta}_1 \bar{x}$$

$$\hat{\beta}_1 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})(x_i - \bar{x})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

Donde:

Y= co2_Trans (Emisiones de dióxido de carbono provocados por el sector transporte)

X1= PIB_perca (Producto Interno Bruto per cápita Paraguay con año base 2010)

X2 = Población (Población de Paraguay)

X3 = Intensidad (Emisiones de Gases de Efecto invernadero en Paraguay/ Producto Interno Bruto con año base 2010)

X4 = P_petroleo (Precios del petróleo)

$\hat{\beta}_0$ = el intercepto o valor constante

$\hat{\beta}_j$ = los parámetros para cada variable

Modelo econométrico para el sector transporte

Desde el punto de vista econométrico, se tendría entonces:

$$\text{co2_Trans} = \text{PIB_perca} + \text{Población} + \text{Intensidad} + \text{P_petroleo} + \mu$$

Díaz y Cancelo, (2010) señalan que las variaciones de las emisiones de dióxido de carbono en el sector de transporte se pueden explicar por los siguientes factores:

- El incremento en el nivel de renta genera una mayor demanda de automotores o kilómetros recorridos, provocando una mayor emisión de CO₂.
- Incremento de la población que demanda mayor cantidad de transporte generando un incremento en las emisiones de CO₂
- El incremento de la Intensidad de emisiones de GEI con relación a la producción, producto del poco avance tecnológico en la matriz productiva de la economía de Paraguay, genera un incremento en las emisiones de los CO₂.
- El incremento de los precios del petróleo generaría una mayor eficiencia en la utilización de los automotores, reduciendo su consumo, y disminuyendo las emisiones CO₂.

Sector Industrial

El modelo del sector industrial también se basó en el modelo de (Díaz y Cancelo, 2010) señalado anteriormente.

Al igual que en el análisis del sector transporte, tampoco se ha tenido en cuenta la variable TCNUEC. Se comparten las demás características establecidas para el sector de transporte.

Las emisiones de CO₂ del sector de industria es la suma del PIB per cápita + la Población + la Intensidad de uso de carbono relacionados al PIB + Precio del petróleo. Es decir:

$$Y = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 X_1 + \hat{\beta}_2 X_2 + \hat{\beta}_3 X_3 + \hat{\beta}_4 X_4,$$

Cada uno de los términos fueron estimados a través de:

$$\hat{\beta}_0 = \bar{y} - \hat{\beta}_1 \bar{x}$$

$$\hat{\beta}_j = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})(x_i - \bar{x})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

Donde:

Y = co2_indus (Emisiones de dióxido de carbono provocados por el sector de industria)

X1 = PIB_perca (Producto Interno Bruto per cápita Paraguay con año base 2010)

X2 = Población (Población de Paraguay)

X3 = Intensidad (Emisiones de Gases de Efecto invernadero en Paraguay/ Producto Interno Bruto con año base 2010)

X4 = Precios del petróleo

$\hat{\beta}_0$ = el intercepto o valor constante

$\hat{\beta}_j$ = los parámetros para cada variable

Modelo econométrico para el sector industrial

Desde el punto de vista econométrico, se tendría entonces:

$$\text{co2_indus} = \text{PIB_perca} + \text{Población} + \text{Intensidad} + \text{P_petroleo} + \mu$$

Díaz y Cancelo (2019) señalan que las variaciones de dióxido de carbono en el sector de industria se pueden explicar por los siguientes factores:

- El incremento en el nivel de renta genera una mayor demanda de productos producidos en el sector industrial, generando una mayor emisión de CO₂.
- El incremento de la población demandará una mayor cantidad de bienes producidos en el sector industrial, razón por la que generará un incremento en las emisiones de CO₂.
- El incremento de la Intensidad de emisiones de GEI con relación a la producción, producto del poco avance tecnológico en la matriz productiva de la economía Paraguay, generará un incremento en las emisiones de los CO₂.

- d) En el caso del precio del petróleo se puede presentar de dos maneras:
- d.1.) El incremento de los precios del petróleo generaría una mayor eficiencia en la utilización de la mencionada variable o sustituyendo por otros bienes para la producción en el sector industrial, lo que reducirá las emisiones de CO₂ en el mencionado sector.
- d.2.) Crecimiento constante del sector industrial, donde los incrementos del precio del petróleo son inelásticos, favoreciendo el aumento de las emisiones de CO₂ en el mencionado sector.

Hipótesis

H₀: Las variables que generan dióxido de carbono en Paraguay se comportan de igual manera en los sectores de transporte e industria.

H_A: Las variables que generan los dióxidos de carbono en Paraguay no se comportan de igual manera en los sectores de transporte e industria.

Supuestos del Modelo

Para la evaluación de la eficiencia e insesgadez de los modelos elaborados se analizaron:

- El factor de inflación de la varianza (VIF) muestra el grado en que la varianza del estimador de mínimos cuadrados es incrementada por la colinealidad existentes entre las distintas variables.

El VIF se define de la manera siguiente:

$$VIF_j = \frac{1}{TOL_j} = \frac{1}{1 - R_j^2}$$

- Shapiro Test para evaluar el supuesto de normalidad de los residuos del modelo. La elección de este test se debe principalmente a la cantidad de observaciones. Al existir una cantidad menor a 50 observaciones, Aldás, J., & Uriel, E. (2017) recomiendan el Shapiro Test.

$$W = \frac{(\sum_{i=1}^n a_i x_{(i)})^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

- Aplicación del Test de **Breusch-Pagan** para detección de heterocedasticidad.
- Aplicación del Test de **Breusch-Pagan** para detección de heterocedasticidad.
- Aplicación del Test de Durbin-Watson para detección de autocorrelación.

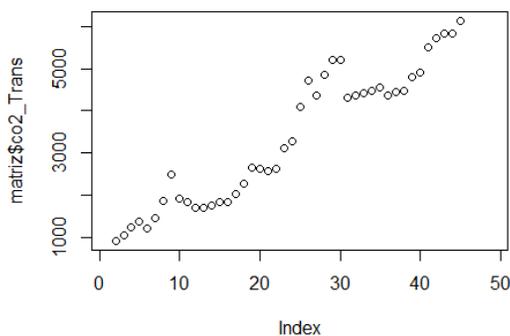
Resultados y discusión

Emisión de CO₂ en el sector transporte

La producción de dióxido de carbono en el Sector de Transporte ha tenido una característica similar al total de dióxido de carbono emitido en el Paraguay, atendiendo que la pendiente más profunda se evidencia en los últimos años. Sin embargo, las emisiones en el sector industrial tienen un comportamiento distinto. En el Gráfico N° 1 se puede ver la evolución a lo largo del tiempo estudiado del dióxido de carbono en el sector de transporte. En el eje Y se encuentra la variable emisión de CO₂ y en el X la variable tiempo.

Gráfico 1.

Dióxido de Carbono emitido en el sector de transporte durante el periodo de 1970 a 2014



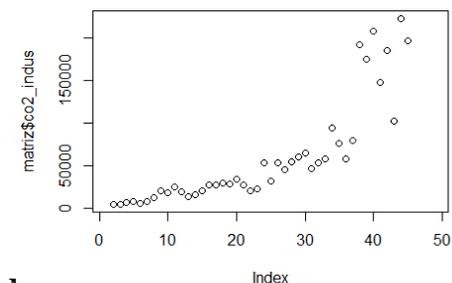
Emisión de CO₂ en el sector industria

En el sector industrial las emisiones generadas de dióxido de carbono desde el año 2004 en adelante, tiene una pendiente pronunciada muy por arriba de la media. Así también, la pendiente de los años 70 es mucho más aplanada con relación a la curva de las emisiones totales de dióxido de carbono y las emisiones provocadas por el sector de transporte. En el Gráfico N° 2 se puede ver el comportamiento durante 1970 a 2014 del dióxido de carbono en el

sector de industria. En el eje Y se encuentra la variable emisión de CO₂ y en el X la variable tiempo.

Gráfico 2.

Dióxido de Carbono emitido en el sector de industria durante el periodo de 1970 a 2014



Se realizaron modelos lineales atendiendo que todas las variables son métricas. Se utilizó el Software R Studio basado en el Método de Mínimos Cuadrados Ordinarios y Mínimos Cuadrados Generalizados.

Una vez especificada la variable regresada como así también las variables regresoras mencionadas en el marco metodológico, se procedió a la elaboración del modelo que permita explicar los cambios que generan cada una de las variables independientes en las emisiones de CO₂ en el sector de transporte. La Tabla 1 resume los resultados obtenidos del modelo econométrico para el sector transporte

Tabla 2.

Modelo de regresión múltiple de emisiones de CO₂ en el sector transporte

Modelo_transporte <- lm(co2_Trans ~ PIB_perca+Población + Intensidad + P_petroleo, data= matriz)					
Coefficients:					
	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)	
(Intercept)	-	1.097e+03	-3.178	0.0029	**
	3.487e+03				
PIB_perca	5.728e-01	2.918e-01	1.963	0.0568	.
Población	1.078e-03	1.258e-04	8.568	1.68e-10	***
Intensidad	5.957e+07	7.689e+07	0.775	0.4432	
P_petroleo	-	3.524e+00	-1.801	0.0795	.
	6.345e+00				

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Multiple R-squared: 0.9271 Adjusted R-squared: 0.9196

F-statistic: 123.9 on 4 and 39 DF p-value: < 2.2e-16

Fuente: elaboración de los autores en base a datos de Data World Bank y OPEC; en2x

La probabilidad de la variable Intensidad es mayor a 5% por tanto no es estadísticamente significativa de forma individual y se procede a excluir de la ecuación tal como lo ilustra la Tabla 1:

Tabla 1.

Actualización del modelo de regresión múltiple de emisiones de CO₂ en el sector transporte.

Modelo_transporte <- lm(co2_Trans ~ PIB_perca + Población + P_petroleo, data= matriz)					
Coefficients:					
	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)	
(Intercept)	-2.692e+03	3.858e+02	-	2.02e-08	***
PIB_perca	4.160e-01	2.092e-01	1.989	0.0536	.
Población	1.080e-03	1.252e-04	8.627	1.14e-10	***
P_petroleo	-6.538e+00	3.497e+00	-	0.0689	.
			1.870		

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Multiple R-squared: 0.9259

Adjusted R-squared: 0.9204

F-statistic: 166.7 on 3 and 40 DF

p-value: < 2.2e-16

Fuente: elaboración de los autores en base a datos de Data World Bank y OPEC; en2x

Los resultados expuestos en la tabla muestran que todas las variables se tienen signos esperados. Es decir, un incremento de 1 USD de PIB per cápita genera un incremento en las emisiones de CO₂ de 4.160e-01 Kilo Toneladas (de ahora en más KT), manteniéndose todos los demás factores constantes.

En el caso de la variable población, un aumento en una unidad hace que en el sector de transporte se incremente un 1.080e-03 de CO₂ (KT).

En el caso del precio de petróleo, una suba de 1 USD, hace que en el sector de transporte se reduzca las emisiones del CO₂ en -6.538e+00 (KT)

El Valor P del Test F es menor del 5%, infiriendo que los estimadores son estadísticamente significativos de manera conjunta o global

Los datos se sometieron a la Prueba T, obteniendo una probabilidad (p-value) menor al 5% para el intercepto y la variable Población. Una probabilidad (p-value)

menor al 10% para las variables PIB per cápita y precios del petróleo, siendo así, todas las variables estadísticamente significativas de forma individual

En este sentido, el valor del R-squared (Coeficiente de determinación corregido) indica el 92% de asociación de las variables exógenas con la variable independiente si se toman los parámetros de Cohen.

Evaluación de los supuestos del modelo econométrico del sector transporte

a) Multicolinealidad

La salida del Factor de Inflación de Varianza es la siguiente:

PIB per cápita	Población	Precios de petróleo
5.122205	5.560680	2.349170

Quintana y Mendoza (2016) señalan que es usual en la práctica que, si el VIF (Factor de Inflación de Varianza) resultara mayor que 10, sea considerado como fuerte colinealidad. En el caso del Modelo_transporte la colinealidad está dentro de los parámetros.

Para confirmar si el Modelo_transporte responde al supuesto de normalidad, se realiza el Test de Shapiro.

b) Normalidad

Tabla 3.
Test de normalidad Shapiro y Wilk para el modelo econométrico del sector transporte

Shapiro-Wilk normality test	
data: Modelo_transporte\$residuals	
W = 0.95509	p-value = 0.08523

El Shapiro Test arroja un P value mayor que 0,05 por lo que acepta la hipótesis de normalidad de los residuos del Modelo_transporte.

c) Homocedasticidad

A continuación, se evalúa la homocedasticidad del Modelo_transporte y se procede a realizar el test de Breusch-Pagan cuyas salidas son los siguientes valores:

Tabla 1.
Test de Breusch y Pagan para detectar heterocedasticidad para el modelo econométrico del sector transporte

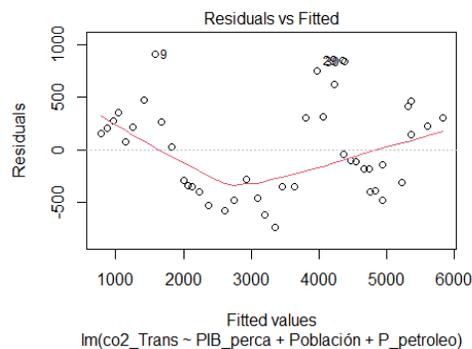
Studentized Breusch-Pagan test		
data: Modelo_transporte		
BP = 9.1258	df = 3	p-value = 0.02766

El test de Breusch-Pagan tiene un p-value menor al 5%, por lo que se rechaza la hipótesis de homocedasticidad, y se acepta que el modelo es heterocedástico.

d) Independencia del término de error

Se analiza la independencia del término de error mediante el Gráfico N°3, que muestra los valores de los residuos (Residuals) y los valores ajustados (Fitted values). Es importante tener en cuenta que los valores de los residuos se encuentran en el eje Y, y los valores ajustados en el eje X. Dichos puntos se alejan del trazado de la línea azul que se encuentra de manera horizontal, lo que implica un problema de autocorrelación en el Modelo_transporte.

Gráfico 3.
Valores residuales vs valores ajustados para el modelo econométrico del sector transporte



Como el Modelo_transporte presenta deficiencias de heterocedasticidad y de independencia del término de error, se procederá más adelante a realizar a través del Método de Mínimos Cuadrados Generalizados. Sin embargo, previamente se analizarán las variables en el sector industrial.

Modelo del Sector Industrial

Especificadas las variables en el marco metodológico, se procedió a la elaboración del modelo que permita explicar los cambios que generan cada una de las variables independientes en las emisiones de CO₂ en el sector industrial. A continuación, se muestra la siguiente salida:

Tabla 2.

Modelo de regresión múltiple de emisiones de CO₂ en el sector de industria

Modelo_industrial <- lm(co2_indus ~ PIB_perca + Población + Intensidad + P_petroleo, data=matriz)				
Coefficients:				
	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	-9.679e+04	6.639e+04	-1.458	0.15288
PIB_perca	3.503e+00	1.766e+01	-0.198	0.84380
Población	2.608e-02	7.615e-03	3.425	0.00146 **
Intensidad	2.879e+09	4.653e+09	0.619	0.53964
P_petroleo	1.147e+03	2.132e+02	5.377	3.79e-06 ***

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
 Multiple R-squared: 0.8256 Adjusted R-squared: 0.8077
 F-statistic: 46.15 on 4 and 39 DF p-value: 2.782e-14

Fuente: elaboración de los autores en base a datos de Data World Bank y OPEC; en2x

En el Modelo_industrial las variables significativas son solamente el precio del petróleo y la población.

La probabilidad de las variables, PIB per cápita e intensidad, son mayores a 5%, por tanto, no son estadísticamente significativas de forma individual y se procede a excluir las mencionadas variables de la ecuación.

Además, el Modelo_industrial, también tiene problema de normalidad como se detalla en el test de Shapiro-Wilk:

Tabla 3.

Test de normalidad Shapiro y Wilk para el modelo econométrico del sector industrial

Shapiro-Wilk normality test	
data: Modelo_industrial\$residuals	
W = 0.90469	p-value = 0.001521

El p-value del Shapiro-Wilk normality test tiene una salida cuya probabilidad es menor al 5%, por lo que se rechaza la hipótesis de normalidad del Modelo_industrial. Por tal motivo, se procede a transformar el Modelo_industrial por medio de logaritmo.

Entonces, aplicando la transformación de variables y la exclusión de aquellas que no son estadísticamente significativas de manera individual, se obtiene el siguiente modelo, cuyos resultados se muestran a continuación.

Tabla 7.

Actualización del modelo de regresión múltiple de emisiones de CO₂ en el sector de industria

Modelo_industrial <- lm(log(co2_indus) ~ log(Población)+ log(P_petroleo), data=matriz)					
Modelo_industrial					
Coefficients:					
	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)	
(Intercept)	-31.47781	3.30614	-9.521	6.07e-12	***
log(Población)	2.69534	0.22730	11.858	7.85e-15	***
log(P_petroleo)	0.25816	0.07156	3.608	0.000831	***

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
 Multiple R-squared: 0.9259 Adjusted R-squared: 0.9223
 F-statistic: 256.2 on 2 and 41 DF p-value: < 2.2e-16

Fuente: elaboración de los autores en base a datos de Data World Bank y OPEC; en2x

Un incremento del 1% de la población paraguaya, genera en el sector industrial un aumento de las emisiones de CO₂ en un 2.69534% medidos en KT. En el caso del precio de petróleo, al incrementarse en 1% su precio en USD, se tiene en el sector industrial un aumento de las emisiones del CO₂ en 0.25816 % en KT.

El Valor P del Test F es 2.2e-16, menor al 5%, infiriendo que los estimadores son estadísticamente significativos de manera conjunta o global

Los datos se sometieron a la Prueba T, obteniendo una probabilidad (p-value) menor al 5% para el intercepto, la variable Población y la variable precios del petróleo, por lo que se rechazan todas las hipótesis alternativas de las variables analizadas, y se aceptan en todos los

casos las hipótesis nulas, que indican que las variables estudiadas son significativas de manera individual.

El R-squared (coeficiente de determinación corregido) del modelo explica el 92% de asociación de las variables Población y Precios de petróleo explican las emisiones de CO₂ del sector industrial.

Evaluación de los supuestos del modelo econométrico del sector industria

a) Multicolinealidad

Para comprobar la colinealidad del modelo se realiza el VIF (Factor de Inflación de Varianza) cuyas salidas se detalla a continuación:

Tabla 4.
Factor de Inflación de Varianza para el modelo econométrico del sector industria

log(Población)	log(P_petroleo)
2.346001	2.346001

Las salidas obtenidas muestran que en el Modelo_industrial, la colinealidad está dentro de los parámetros normales.

b) Normalidad

Se aplicó el Shapiro-Wilk normality test para determinar la normalidad del Modelo_industrial. La salida del p-value arroja una probabilidad mayor al 5%, por lo que acepta la normalidad del modelo.

Tabla 5.
Test de normalidad Shapiro y Wilk para el modelo econométrico del sector industria

Shapiro-Wilk normality test	
data: Modelo_industrial\$residuals	
W = 0.95658	p-value = 0.09693

c) Homocedasticidad Para inferir si el Modelo_industrial es homocedastico o heterocedastico se realiza el studentized Breusch-Pagan test cuyas salidas se detallan a continuación:

Tabla 10.
Test de Breusch y Pagan para detectar heterocedasticidad para el modelo econométrico del sector industria

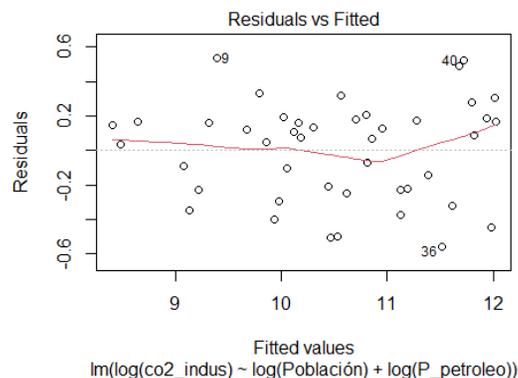
Studentized Breusch-Pagan test		
data: Modelo_industrial		
BP = 3.2669	df = 2	p-value = 0.1953

Como el p-value del test Breusch-Pagan es de 0.1953, mayor que el 5%, se acepta la hipótesis de homocedasticidad del Modelo_industrial.

d) Independencia del término de error

Posteriormente se evalúa el supuesto de independencia del término de error a través del Gráfico N° 4, cuyo eje Y está comprendido por los valores residuales (Residuals) y el eje X por los valores ajustados (Fitted values). La línea roja debe ubicarse de manera horizontal en el punto donde el residuals es cero. En el caso del Modelo_industrial existen puntos que se distancian un poco del cero.

Gráfico 4.
Valores residuales vs valores ajustados para el modelo econométrico del sector industrial



Una vez estudiado el Modelo_industrial, que analiza las variables de mayor emisión de dióxido de carbono en el sector industrial. Al igual que en el Modelo_transporte, se procede a aplicarle el Método de Mínimos Cuadrados Generalizados mediante el software R Studio.

Método de Mínimos Cuadrados Generalizados

Atendiendo que varios supuestos de los modelos tanto del sector transporte e industria no se cumplen, se aplica el Método de Mínimos Cuadrados Generalizados cuyos resultados se resumen en la Tabla N° 11.

Tabla 6.

Comparación de los modelos econométricos del sector transporte y sector industrial aplicando el Método de Mínimos Cuadrados Generalizados

Indicadores o variables	Emisiones de CO ₂ generadas por el sector transporte:		Emisiones de CO ₂ generadas por el sector industria:	
	Modelo: Modelo_transporte_2 (Método MCG)		Modelo: Modelo_industrial_2 (Método MCG)	
(Intercept)	Estimate: -3.8491e+03	p-value = 0.001327 2 **	Estimate: -32.535847	p-value = 1.581e-09 ***
PIB_perca	Estimate: 9.4653e-01	p-value = 0.010491 3 *	No significativo	
Población	Estimate: 9.3208e-04	p-value = 0.000327 8 ***	Estimate: 2.767867	p-value = 5.573e-12 ***
Intensidad P_petroleo	No significativo		No significativo	
	Estimate: 8.2664e+00	p-value = 0.079669 3 .	Estimate: 0.241218	p-value = 0.0150 3 *
F-statistic: Adjusted R-squared:	p-value = 1.585e-07 0.5503		p-value = 1.6e-18 0.8647	
Durbin-Watson	1.81453	p-value: 1.861e-01	1.94919	p-value: 3.228e-01
Shapiro-Wilk normality test	p-value = 0.1066		p-value = 0.1046	
Breusch-Pagan test	p-value = 0.4636		p-value = 0.2265	

Fuente: elaboración de los autores en base a datos de Data World Bank y OPEC; en2x

Si se tiene *ceteris paribus*, un incremento de 1 USD de PIB per cápita genera un incremento en las emisiones de CO₂ de 9.4653e-01 KT (Kilo Toneladas) en el

sector de transporte. Mientras que la variable PIB per cápita no es estadísticamente significativa en el sector industrial para la emisión de CO₂.

Manteniéndose todas las variables constantes, el incremento de la población paraguaya en una unidad hace que en el sector de transporte genere un aumento de las emisiones de CO₂ en 9.3208e-04de (KT). En el sector industria, el impacto de la variable Población es mucho más potente. Manteniéndose todos los demás factores constantes, el incremento de la población paraguaya en 1%, hace que en el sector industrial aumente las emisiones de CO₂ en 2.767867 % (KT).

El incremento del precio del petróleo tiene un impacto fuerte en el sector de transporte, atendiendo que por cada 1 USD que sube el precio del petróleo, se reduce en el sector de transporte las emisiones de CO₂ en un -8.2664e+00 (KT), para todos los demás factores constantes. Todo lo contrario, al sector industrial, donde el precio del petróleo es bastante inelástico. Por un incremento del 1% del precio del petróleo, se tiene un aumento de las emisiones de CO₂ en el sector industrial de 0.241218% de KT, para todos los demás factores constantes.

El Valor P del Test F es menor del 5%, infiriendo que los estimadores son estadísticamente significativos de manera conjunta, tanto para el sector de transporte e industria.

Los datos se sometieron a la Prueba T, obteniendo un p value menor al 5%, siendo así, todas las variables incluidas en el modelo estadísticamente significativas de forma individual

Así también, el valor del Coeficiente de determinación corregido (R-squared) indica la asociación de las variables exógenas con la variable independiente en un 55% en el sector de transporte. Mientras que el coeficiente de determinación corregido para el sector industrial es de 86%.

Con relación a la normalidad, tanto el Modelo_transporte (sector transporte) como el Modelo_industrial (sector industrial) obtuvieron una probabilidad (p-value) mayor que 5% en el test de normalidad de Shapiro-Wilk En ambos modelos se aceptan la hipótesis de normalidad.

En el Breusch-Pagan test se obtuvieron una probabilidad (p value) mayor al 5%, por tanto, se acepta la hipótesis de homocedasticidad para el Modelo_transporte (sector transporte) como para el Modelo_industrial (sector industrial).

La probabilidad (p-value) del Durbin-Watson del Modelo_transporte (sector transporte) y del Modelo_industrial (sector industrial) son mayores al 5%, por tanto, se rechaza la hipótesis de que exista autocorrelación en ambos modelos.

Conclusión

La producción de dióxido de carbono en los sectores económicos tanto del transporte como industria son generadas por las mismas variables, sin embargo, actúa de manera distinta en cada una de ellas.

En el caso de la variable del PIB per cápita, en el sector de transporte tiene un $\hat{\beta}_1$ (parámetro) positivo que se aleja de la curva de Kuznets ambiental (CKA). Es decir, el PIB per cápita es lo suficientemente alto para que el sector de transporte se incremente y genere mayores emisiones de CO₂, pero lo insuficientemente alto para que se produzcan cambios como, por ejemplo, para la compra de automóviles eléctricos. Es así como el incremento del PIB per cápita en 1 USD de los habitantes del Paraguay conlleva al sector de transporte a un aumento de las emisiones de dióxido de carbono en 0,9 KT. Sin embargo, en el sector industrial, la variable no es estadísticamente significativa, situación llamativa que debe ser estudiada en otras investigaciones.

La variable población tiene un impacto menor en el sector de transporte, a diferencia del sector industrial, aunque para ambos sectores $\hat{\beta}_2$ (parámetro) son positivos.

En el sector transporte, manteniéndose todas las demás variables constantes, el incremento de una persona en la población paraguaya, aumenta las emisiones de dióxido de carbono en 0,00093 KT. Esto indica que, a mayor cantidad de población, se demanda mayor cantidad de transportes contaminantes. En el sector industrial, la variable mencionada tiene un impacto mayor. Manteniéndose todas las variables constantes, el incremento de 1% de la población en Paraguay, aumenta 2,76% el dióxido de carbono generado en este

sector, dada la naturaleza industrial del país (producción de alimentos).

Por otra parte, la variable precios de petróleo genera impactos en sentidos contrarios en los sectores estudiados. Para el sector transporte se tiene un $\hat{\beta}_4$ (parámetro) negativo, mientras que para el sector industrial se tiene $\hat{\beta}_4$ (parámetro) positivo.

Como se mencionó con relación a la variable PIB per cápita, el ingreso medio del paraguay no es lo suficientemente alto, por lo que en el sector transporte, el precio del petróleo es bastante elástico. Manteniéndose todas las demás variables constantes, por cada un dólar que aumenta el precio del petróleo, se reducen las emisiones de dióxido de carbono en 8,2 KT.

Sin embargo, en el sector industrial, manteniéndose todas las variables constantes, con un aumento de un 1% en el precio del petróleo, este sector genera un incremento en las emisiones de CO₂ de 0,2%.

Entonces, atendiendo los resultados obtenidos, se concluye aceptar la hipótesis alternativa de la investigación: las variables que generan los dióxidos de carbono en Paraguay no se comportan de igual manera en los sectores de transporte e industria.

Recomendaciones y agenda futura

En términos de la adopción de la política contra el Cambio Climático, el Paraguay enfrenta grandes retos que lo hacen particularmente vulnerable si se considera su sensibilidad económica ante eventos de la acción climática. Se hace necesario, por lo tanto, que este tema tenga mayor participación en la agenda pública, no solo de parte del gobierno central, sino también, en los gobiernos locales de todo el país.

En términos de acciones concretas, la principal oportunidad tanto para el sector transporte como el industrial del Paraguay, así como en la gran mayoría de los países en desarrollo, es la puesta en marcha de más y mejores mecanismos de financiación que estimulen y ayuden a amortiguar los altos costos de la transición energética a energías limpias. La cooperación internacional puede ser un canal que aprovechen las economías en desarrollo para

garantizar fuentes de financiamiento, de tal manera, que se garanticen los recursos necesarios que permita los resultados esperados.

Concretamente, en el sector industrial se debe garantizar la sustitución de materiales asociados a elevados niveles de emisiones de CO₂, por otros materiales alternativos que cumplan la misma función pero que puedan significar considerables beneficios.

Por otro lado, otra medida puede ser, la estimulación fiscal para las empresas que presenten un continuo desarrollo en innovaciones significativas y que reduzcan las emisiones. Esto puede garantizar que otras empresas de diferentes sectores de la economía se sumen a realizar las mismas acciones de innovación y desarrollo en procura de minimizar las emisiones y aunar fuerzas frente a la lucha contra el cambio climático.

Además, estas innovaciones empresariales pueden servir de referente social, no solo por términos económicos, sino también, de conciencia de la responsabilidad que se debe asumir por parte de toda la sociedad y especialmente, el empresariado.

Bibliografía

- Adedoyin, F. F.-I. (2020). Modelling coal rent, economic growth and CO₂ emissions: Does regulatory quality matter in BRICS economies? *Science of the Total Environment*, 710, 136284. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.136284>
- Adedoyin, F. F.-I. (2020b). Modelling coal rent, economic growth and CO₂ emissions: Does regulatory quality matter in BRICS economies? *Science of the Total Environment*, 710, 136284. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.136284>
- Agencia EFE. (02 de octubre de 2019). EFE: Agencia EFE. Obtenido de <https://www.efe.com/efe/america/economia/paraguay-admite-que-esta-en-recesion-tras-una-caida-del-3-de-su-pib/20000011-4077152>
- Aldás, J., & Uriel, E. (2017). *Análisis multivariante aplicado con R*. Madrid: Ediciones Paraninfo, S.A.
- Álvarez, S., & Carpintero, Ó. (2009). *Economía Ecológica: Reflexiones y Perspectivas*. Madrid: Círculo de Bellas Artes.
- Ang, J. B. (2007). CO₂ emissions, energy consumption, and output in france. *Energy Policy*, 35(10), 4772-4778.
- Banerjee, A., & Duflo, E. (2020). *Buena economía para tiempos difíciles*. Bogotá, D.C.: Penguin Random House Grupo Editorial, S.A.S.
- Bowen, A; Cochrane, S; Fankhauser, S. (2012). Climate change, adaptation and economic growth. *Climatic change*. Obtenido de <https://doi.org/10.1007/s10584-011-0346-8>
- Díaz-Vázquez, M. R., & Cancelo, M. T. (2010). Análisis de los factores determinantes de la evolución de las emisiones de dióxido de carbono mediante una descomposición econométrica. *Revista de Economía Mundial*, 85-106. Obtenido de https://www.redalyc.org/pdf/866/Resumenes/Resumen_86618030004_1.pdf
- Heede, R. (2014) Tracing anthropogenic carbon dioxide and methane emissions to fossil fuel and cement producers, 1854–2010. . Obtenido de *Climatic Change* 122, 229–241: <https://doi.org/10.1007/s10584-013-0986-y>
- Nordhaus, W. (2019). *El casino del clima*. Barcelona: Editorial Planeta.
- Odhiambo, N. M. (2016). Coal consumption and economic growth in south africa: An empirical investigation. *Energy & Environment*, 27(2), 215-226.
- Qin, D. C. (2007). Recent progress on climatic change science. *Adv.Clim.ChangeRes*, 3(6373), 5.

Quintana, L., & Mendoza, M. Á. (2016). *Econometría Aplicada utilizando R*. México, D.F.: Universidad Nacional Autónoma de México.

Sachs, J. (2006). *El fin de la pobreza*. D.F. México: Random House Mondadori, S.A.

Sachs, J. (2013). *Economía para un planeta abarrotado*. México, D.F.: Random House Mondadori, S.A.

Yunus, M. (2018). *Un mundo de tres ceros*. Barcelona: Editorial Planeta.

Zafar, M; Shahbaz, M; Sinha, A; Sengupta, T y Qin, Q. (2020). How renewable energy consumption contribute to environmental quality? the role of education in OECD countries. *Journal of Cleaner Production*, 268, 122149. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122149>

9