

Costa Rica y Panamá: Emisiones de CO₂ y su relación con el PIB, población total, producción de electricidad, exportaciones de productos manufacturados y servicios de transporte en los años 1977 al 2015

Silvia Campos Vargas², Carlos Fonseca Rodríguez², Daniela González Chaves²

silvia.camposvargas@ucr.ac.cr, carlos.fonsecarodriguez@ucr.ac.cr,

daniela.gonzalezchaves@ucr.ac.cr

RESUMEN

El incremento del Dióxido de Carbono (CO₂) presenta una tendencia al alza en las últimas décadas, lo que podría estar vinculado al crecimiento económico de los países. El presente trabajo analizó la relación que existe entre la emisión del CO₂ con respecto al Producto Interno Bruto (PIB), población total, producción de electricidad a partir de fuentes de petróleo, gas y carbón, exportaciones de productos manufacturados y servicios de transporte en Costa Rica y en Panamá, entre los años de 1977 al 2015. Para analizar este efecto se utilizó una regresión múltiple, con el CO₂ como variable de respuesta. Con base en este modelo se logró determinar que un modelo con un poder predictivo del 0.94, conformado por las siguientes variables predictoras: servicio de transporte de las importaciones de servicios comerciales, la transformación logarítmica del producto interno bruto, población total Panamá, la interacción entre el servicio de transporte de las importaciones de servicios comerciales y Panamá y la interacción entre la transformación logarítmica del producto interno bruto y Panamá.

PALABRAS CLAVE: crecimiento económico, modelo de regresión múltiple, poder predictivo.

ABSTRACT

The increase of Carbon dioxide (CO₂) in the last decades was related to the increase of the country's economy. This work analyzed the relation of the CO₂ emissions with respect to the Gross Domestic Product (GDP), population, electricity production from oil, gas and carbon, products exportations, and transport service for importation commercial service in Costa Rica and Panamá between the years of 1977 to 2015. The statistical analysis used was the multiple regression model, since there is a response variable CO₂ and a multiples predictive variables , the model who had the highest predictive power with a value of 0.94 was the model which was conformed by the predictive variables; transport service for importation commercial service, population of Panamá, the logarithm transformation of Gross Domestic Product, the interaction of transport service for importation commercial service with Panamá and the interaction of the logarithm transformation of Gross Domestic Product with Panamá.

KEYWORDS: economic growth, multiple regression model, prediction power

² Estudiantes de segundo año de Estadística de la Universidad de Costa Rica

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, se ha observado una cantidad de cambios importantes en la parte ambiental, como son el aumento de la temperatura global o el deterioro de la capa de ozono, los cuales provocan sequías, incendios o inundaciones en algunos países, así como otras problemáticas. Los cambios ambientales son causados principalmente por todos los residuos generados por el aumento del uso de combustibles fósiles, tales como el carbón, gas, petróleo, en vez de utilizar energías renovables.

Como mencionan Martínez y Fernández (2004), estos acontecimientos tienen relación con los residuos generados por el uso de combustibles fósiles, que tienen el componente de dióxido de carbono (CO₂), el cual está constituido por un átomo de carbono y dos átomos de oxígeno, este gas es resultante tanto de procesos geoquímicos como biológicos. El CO₂ es un elemento importante para regular la temperatura del planeta, y es uno de los elementos de la capa de ozono, pero las cantidades excesivas generan un aumento en las temperaturas a nivel global, porque evita que la radiación salga de la atmósfera.

Lo que ha provocado a través de los años el aumento del CO₂ son las metas que tienen todos los países de poseer una mayor productividad. Para ello se incrementó el uso de combustibles fósiles, como lo que es el petróleo, para que las industrias de manufactura crecieran. También crecieron las exportaciones, con ellas los servicios de transporte que éstas requieren, además de otra serie de factores. Con los elementos anteriores, más dichas tendencias al alza, los países esperan un aumento su productividad.

Para confirmar ese crecimiento se utiliza el Producto Interno Bruto (PIB), el cual es un indicador que mide el valor monetario de los bienes y servicios finales que ha producido un país en un periodo de tiempo determinado y toma en cuenta todas las actividades productivas excepto las no remuneradas. El PIB no considera en su totalidad los gastos de producción, por lo que al aumentar las actividades productivas de un país aumentará el PIB de ese periodo. El PIB es importante porque proporciona información sobre el tamaño de la economía y su desempeño (Callen, 2008).

Existen varios estudios que han demostrado que existe una relación entre el PIB y el aumento del CO₂, incluso, se ha podido observar cómo en países que han tenido un considerable crecimiento económico, han obtenido colateralmente un incremento de emisiones de CO₂; como en el trabajo de Vergara, Maza, Quesada (2017), se evidencian que existe una relación entre las emisiones de CO₂ y el Producto Interno Bruto (PIB), estos resultados pertenecen a diferentes países de América, para los cuales utilizaron la curva ambiental de Kuznets para las mediciones. Observaron que esta relación se debe a que al aumentar tanto la inversión nacional como extranjera, con el aumento del PIB, también crece la actividad industrial, la producción de manufactura, el transporte, entre otras, y con esto aumentan las emisiones de CO₂. Mientras que, en el caso de Costa Rica, Campos (2019) menciona que la relación entre el PIB y las emisiones de CO₂ se vio más marcada durante los primeros seis meses del año 2020, porque al reducir el comercio y las producciones las emisiones de CO₂ se redujo un 26% con respecto a las del año 2019.

A partir de estas investigaciones, se puede observar cómo es utilizada la trayectoria de la curva de Kuznets (la cual estudia el efecto que tiene el crecimiento económico, con ciertos indicadores

ambientales) Panayotou plantea la hipótesis de que el crecimiento del PIB aumenta la contaminación hasta ciertos niveles, es por esta razón, que la curva en una primera instancia muestra un aumento de la contaminación del ambiente, sin embargo, cuando el crecimiento económico supera un punto de inflexión, la contaminación empieza a disminuir progresivamente, esto ocurre porque habría un gran impacto ambiental, por lo que la economía empezaría a descender (Campo y Olivares, 2013).

Conviene tener presente que la curva de Kuznet no es igual en todos los países, dado las diferencias en su desarrollo, las variables de crecimiento económico y de consumo energético, pueden explicar en mayor grado las emisiones de CO₂. La relación entre las variables puede variar por país, la técnica de estimación y el grado de desarrollo de los países (Toledo, Benavides y Ochoa, 2016).

En este trabajo se toman los países de Costa Rica y Panamá, no solo por ser países fronterizos vecinos, sino porque ambos suscribieron el acuerdo de París, se comprometieron con la aspiración de contener el calentamiento del planeta en 2 °C por encima del nivel preindustrial, mediante un esfuerzo sostenido en los años por venir. aunque en lo que es el acuerdo de la OECD (Organization for Economic Co-operation and Development, por sus siglas en inglés), solo Costa Rica está dentro de la misma, y que, a pesar de ello, Adicionalmente ambos países no registran la cantidad de emisiones producidas anualmente desde el 2016, por lo que se considera atractiva su comparación.

Como objetivo se tiene analizar la relación que existe entre la emisión del CO₂ con respecto al PIB, población total, producción de electricidad a partir de fuentes de petróleo, gas y carbón, exportaciones de productos manufacturados y servicios de transporte en Costa Rica y en Panamá, entre los años de 1977 al 2015. Para esto se buscará identificar las variables idóneas para modelar la relación entre la emisión del CO₂ y el PIB en Costa Rica y en Panamá entre los años de 1977 al 2015, con la base de datos adquirida, para seguidamente estudiar la relación obtenida por medio de estas variables seleccionadas y comparar las relaciones obtenidas en Costa Rica y en Panamá.

Dado las investigaciones previas y acontecimientos de los países a estudiar, se espera, mediante el análisis estadístico, obtener como resultado, que las emisiones de CO₂ tienen una relación con el aumento o decrecimiento del PIB, tanto en Costa Rica como en Panamá, y así plantear si es necesario o no el uso de alternativas eco-amigables con el ambiente, esto para poder tener un buen crecimiento en el país, pero sin requerir de producir daño al medio ambiente al reducir la producción de CO₂.

METODOLOGÍA

Para el desarrollo de la investigación, se utilizaron dos diferentes bases de datos, una de Costa Rica y la otra de Panamá, ambas fueron obtenidas por medio del “Grupo del Banco Mundial” en el link <https://datos.bancomundial.org/pais> (Banco Mundial, 2020)

La unidad de observación, para cada país y variable los años desde 1977 hasta el 2015, esto determinando cuánto ha sido el crecimiento o decrecimiento de la variable respuesta, es decir, el CO₂ con relación a las variables predictoras. Las variables predictoras se mencionan a continuación, indicando entre paréntesis el nombre corto usado en el modelo ajustado y los gráficos: población total (pob), producción de electricidad a partir de fuentes de petróleo, gas y carbón (elect), producto interno bruto (PIB), exportaciones de productos manufacturados (expo), servicios de transporte (trans) y país que es una variable categórica.

Para determinar la relación entre la variable respuesta y las variables predictoras se usó un modelo de regresión lineal múltiple, donde se ajusta a una variable dependiente más de una variable predictoras, al suponer que varias variables son las que influyen en el comportamiento de esta variable dependiente. Se empleó el software estadístico R en su versión 4.0.1 (R Core Team, 2020) mediante Rstudio (RStudio Team, 2016) como herramienta para analizar, observar y determinar la relación y el comportamiento que tienen las variables entre ellas.

Para realizar las figuras y cálculos necesarios se requirió el uso de ciertos paquetes estadísticas o librerías en R. En el caso de las figuras se aplicaron las librerías corrgram (Wright, 2018), lattice (Sarkar, 2008) y car (Fox y Weisberg, 2019), mientras que para el caso del cálculo para determinar si había o no homocedasticidad en el modelo, se utilizó la librería lmtest (Zeileis y Hothorn, 2002).

Para el estudio fue necesario realizar el cálculo para conocer si había o no interacción entre las variables, del mismo modo fue necesario calcular los DFFITS para determinar la influencia de una observación sobre la estimación de sí misma y la prueba de Distancia de Cook, la cual consiste en indicar la influencia de una observación con respecto a un modelo particular.

Posteriormente, se realizaron los diagnósticos sobre los supuestos de las regresiones lineales, es decir, se evaluó el modelo con las variables, y con ello se determinó si se cumplían los supuestos de normalidad, homocedasticidad, no multicolinealidad y linealidad. Con dichos análisis y con la ayuda del experto Manuel Campos Rudin (Profesor de la Universidad de Costa Rica en el Centro de Investigación en Ciencias del Mar y Limnología (CIMAR), quien previamente ha realizado trabajos relacionados con el tema en estudio, se determinó si era o no conveniente eliminar los valores extremos con sus influencias y se diferenció por qué ocurrieron las variaciones observadas en el trabajo. Posteriormente, se utilizaron tanto el Criterio de información de Akaike - AIC (An Information Criterion por sus siglas en inglés) y el Criterio de información bayesiano para comparar los diferentes modelos. Se utilizó la suma de cuadrados de errores de predicción (PRESS) y el coeficiente de determinación corregido, también conocido como el R² ajustado con el fin de escoger el modelo más adecuado.

RESULTADOS

Antes de empezar con la construcción de un modelo de regresión, se deben de analizar y entender bien las variables que lo conforman. Anteriormente ya fueron mencionadas las variables que se utilizaron, la variable respuesta corresponde a las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) y las variables predictoras la cantidad de población, en miles de personas, el porcentaje de la electricidad producida mediante petróleo, gas y carbón con respecto a la producción total (no es claro el porcentaje con respecto a qué, es el porcentaje de electricidad que se produce con petróleo, gas y carbón con respecto a la producción total de electricidad?), el producto interno bruto (PIB), medido en miles de dólares, porcentaje de servicios de transporte que generan CO₂ con respecto a todos los servicios de transporte y el porcentaje de las exportaciones bienes manufacturados con respecto totales anuales, siendo todas estas variables continuas, además de otra variable predictora categórica, llamada país, que divide los datos en dos categorías, Panamá y Costa Rica.

Las emisiones de CO₂ se evalúan para cada variable continua, tomando en cuenta su comportamiento en cada país, para analizar el comportamiento de estas variables y verificar si realmente pueden ser utilizadas para el modelo o si tendrán que ser descartadas por su comportamiento.

Primeramente, se comparó la variable respuesta, emisiones de CO₂, con la variable predictora PIB (Figura 1 en anexo) apreciándose una diferencia entre las rectas de cada país, la recta de Panamá muestra una pendiente mayor a la de Costa Rica, llegando incluso a intersecar entre sí, por lo que esto ya nos da una idea de que existe interacción entre las variables. Además de que, en los datos referentes a Costa Rica, se observa un cierto comportamiento cuadrático, a causa de unos cuantos datos que, a pesar de que el PIB aumentó, no parecen haber aumentado las emisiones de CO₂, como venía sucediendo en los años anteriores.

Luego se comparan las emisiones de CO₂ con el porcentaje de servicios de transporte (Figura 2 en anexo). En este caso se aprecia un comportamiento más lineal en los dos países, ambos con una disminución en las emisiones de CO₂ conforme aumenta el porcentaje de servicios de transporte que generan CO₂. Al analizar las dos rectas de cada país en conjunto, se observa que, a diferencia de lo que se vio al comparar las emisiones de CO₂ según el PIB, no hay un comportamiento que indique interacción entre las variables, con pendientes muy parecidas.

Seguidamente, analizando las emisiones de CO₂ según el porcentaje de producción de electricidad con petróleo, gas y carbón (Figura 3 en anexo), de nuevo se aprecia una fuerte interacción entre el porcentaje de producción de electricidad y variable categórica país, ambas rectas con un comportamiento opuesto, con tendencia creciente en el caso de Panamá, y decreciente en el caso de Costa Rica. Esto puede deberse a la forma en que están distribuidas las observaciones, de tal forma que casi todas las observaciones correspondientes a Costa Rica son porcentajes menores al 20% de producción eléctrica, formando un tipo de nube, mientras que en el caso de Panamá es lo contrario, pues la gran mayoría de los porcentajes de las observaciones están por encima del 20%. Por este motivo se podría concluir que la variable porcentaje de producción de electricidad podría no servir para el modelo dada la distribución de los datos por lo que se decidió eliminarla del modelo, ya que pues podría perjudicar más de lo que aportaría.

Al comparar las emisiones de CO₂ según el porcentaje de exportaciones de los países (Figura 4 en anexo), se aprecia nuevamente una mala distribución de los datos. A pesar de que en la figura no se determina que exista interacción entre las variables, sí se aprecia en Panamá, existe una región en la figura donde se acumulan la mayoría de las observaciones, estando casi todas por debajo del 20% de exportaciones, con unas pocas observaciones cercanas al 100%. Mientras que, en las observaciones de Costa Rica, se observa un comportamiento similar, pero solo que ahora se acumulan en dos lugares diferentes, estando la mayoría concentradas un poco por encima del 20%, mientras que muchas otras están por encima del 60%, por lo que en ninguno de los países se presentan observaciones a lo largo de la recta. Debido a esto no se podría confiar mucho en la variable del porcentaje de exportaciones, por lo que, de igual manera que con la variable del porcentaje de producción de electricidad, sería mejor quitarla del modelo.

Luego, se analiza la emisión de CO₂ según la población de cada país (Figura 5 en anexo). En este se determina un comportamiento bastante lineal en ambos países. También se aprecia una posible interacción entre las rectas de ambos países, ya que a pesar de que siguen comportamientos parecidos, ambos crecientes, la distribución de los datos, a simple vista, no parece que se puedan llegar a igualar las pendientes de ambas rectas.

Una vez analizado el comportamiento de las variables predictoras, se llegó a la conclusión de excluir las variables de porcentaje de producción de electricidad y la del porcentaje de exportaciones en el modelo, debido a su comportamiento en ambos países, que se acumulaban en ciertas regiones, lo que podría perjudicar el modelo en vez de beneficiarlo.

Con las variables predictoras producto interno bruto (PIB), medido en miles de dólares (pib), porcentaje de servicios de transporte que generan CO₂ (trans), población (pob), país y las interacciones entre país y sus respectivas variables predictoras, con este modelo se realizaron los diagnósticos de los supuestos:

- Normalidad: se realizó un gráfico de residuales estudentizado (Figura 6 en anexo), la cual cumple el supuesto de normalidad, pues la mayoría de los datos están cerca de la línea teórica. Además, se realizó la prueba teórica de Kolmogorov-Smirnov, en la cual se obtuvo una probabilidad asociada (p) de 0.57 con un nivel de significancia de 0.05, con lo cual no hay suficiente evidencia estadística para rechazar el supuesto de normalidad.
- Homocedasticidad: de igual forma se realizó un gráfico de los residuales contra los valores propios (Figura 7 en anexo), donde se muestra una varianza constante, esto se confirma con la prueba de Breusch Pagan, la cual con una probabilidad asociada de 0.64 comparado con un nivel de significancia de 0.05, no hay suficiente evidencia estadística para rechazar el supuesto de homocedasticidad.
- Multicolinealidad: para determinar el supuesto de multicolinealidad se utilizó el enfoque del Factor de inflación de la Varianza (VIF) (Tabla 1 en anexos). En la tabla 1 se puede observar que la variable que tiene el valor más alto de VIF es población, con un valor de 7.901, pero esta no sobrepasa lo que es la regla de 10, por lo que no hay problema con el supuesto de no

multicolinealidad, es decir, en este modelo se cumple el supuesto de no multicolinealidad entre los datos.

- Linealidad: en este caso se realizaron gráficos con los residuales parciales de las variables contra la variable con respecto al país (Figura 8 en anexos). En los gráficos se pueden observar cómo la linealidad del caso de transporte al igual que pob, a pesar de que la línea suavizada realiza una curvatura, al no ser tan grandes, se puede asumir que se cumple el supuesto de linealidad, aunque, para la variable PIB no se cumple, porque realiza varias curvaturas, ya sea con los residuales de Panamá y Costa Rica en conjunto o separadas, por esta razón para corregir este problema en la variable PIB, se debe transformar con un logaritmo. En la Figura 9 (ver en anexos) se evidencia como al transformarla se cumple el supuesto de linealidad en el modelo.

Como en el modelo existe una variable categórica, se debe de comprobar si hay interacción entre las variables, por lo que se realizó la prueba de hipótesis para comprobar la existencia de interacción entre las diferentes variables. Para esto se crearon dos modelos, uno con todas las interacciones entre las variables y otro sin ninguna interacción entre ellas.

Al aplicar la prueba F con un nivel de significancia del 5%, para comparar ambos modelos, se obtuvo que el modelo que cuenta con todas las interacciones logra explicar más que el modelo que no tiene ninguna, dado que posee una probabilidad asociada de 0.000001.

Posteriormente, al realizar tanto la prueba del Criterio de información de Akaike como la de Bayes, se determinó que en ambos criterios las variables del modelo seleccionado son las mismas a pesar de que los dos criterios suelen penalizar con mayor fuerza casos diferentes, por lo que para este análisis solo se eliminó la variable de la interacción entre pob y el PIB.

Al efectuar la selección de variables y eliminar la interacción entre población con país, se volvió a realizar el diagnóstico de los supuestos, obteniendo que el supuesto de normalidad, de homocedasticidad y linealidad se siguieron cumpliendo. Para el supuesto de no multicolinealidad se observó un cambio en el VIF al sustituir la variable de pib a $\log(\text{pib})$, la variación se puede evidenciar en la Tabla 1(ver en anexos). Se aprecia que para el caso de pob el VIF pasó de 7.90 a 10.65, por lo que, al usar el parámetro de 10, se incumple el supuesto.

Si se observa la Tabla 2 (ver en anexos), no es necesario realizar esta transformación, ya que la variable población es una variable significativa con un valor p de 0.00001, por lo que se determinó que este cambio no infla el error estándar de pob. Además, se puede percibir que este valor tiene un R^2 ajustado de 0.95, por lo que se consta que no es necesario realizar la corrección de este problema relacionado con el supuesto.

Para analizar qué tanto logra explicar el modelo las emisiones de CO_2 se calcularon los R^2 ajustados con todas las posibles combinaciones de las cuatro variables. Como se observa en la Tabla 3 (ver anexos) el conjunto que obtuvo un mayor R^2 ajustado fue el modelo que contaba con todas las

variables menos la del PIB transformada con un R^2 de 0.85. Además, se analizó el poder predictivo (P^2) para el cual valoró primero la suma de cuadrados de predicción (PRESS) del modelo con un resultado de 27581120 y posteriormente se calculó el P^2 con un valor de 0.94, el cual es muy cercano a uno por lo tanto el modelo tiene poder predictivo.

CONCLUSIÓN

Bajo el contexto de este análisis, se concluye que en efecto, como establece el estudio de Vergara, Maza y Quesada (2017), hay una relación directa en lo que es el crecimiento de las emisiones de CO₂ con respecto al crecimiento del PIB, aunque en el caso de Costa Rica y Panamá no se observa lo que es la curva de Kuznets, solo se observa lo que es el crecimiento tanto del PIB con respecto al CO₂, pero no se observa el punto de inflexión que provoca un decrecimiento en las emisiones de CO₂, solo se aprecia una pequeña curvatura de este tipo en Costa Rica. No obstante, sigue aumentando el grado de asociación entre las variables.

Además, se puede concluir cómo la asociación entre las variables pueden variar por el país, la técnica de estimación y el grado de desarrollo de los países. Como lo determinan Toledo, Benavides y Ochoa en su investigación, esto se puede representar con el caso de Costa Rica y Panamá, ya que, al analizar el modelo, se observa como las estimaciones para Panamá son en general más altas que las estimaciones de Costa Rica, al variar cualquiera de las variables que tiene interacción en el modelo, por lo que se concluye que en general, en Panamá, las emisiones de CO₂ son mayores que las existentes en Costa Rica. También en lo referente a las variables de población, servicios de transporte, exportaciones de productos manufacturados, PIB y producción de electricidad a partir de fuentes de petróleo, gas y carbón.

Esto ocurre porque a pesar de que Costa Rica y Panamá son países vecinos, Costa Rica ha tenido problemas en la parte económica pero Panamá no, y con ello se ha evidenciado varios avances que tiene Panamá en las exportaciones de manufactura, los servicios de transporte, el manejo de la electricidad y por razones de extensión territorial es bastante claro que la población total de ambos países es diferente y por ello Panamá tiene una mayor nivel en lo que es la variable población en comparación con Costa Rica.

Además, según el modelo, las variables que más explican la variabilidad, sin contar las interacciones debidas a las notables diferencias entre ambos países, de las emisiones de CO₂ son el tamaño de la población y el PIB. Ambas tienen un coeficiente positivo, por lo que entre mayor sea el valor de estas variables, mayores serán las emisiones de CO₂ que se produzcan, por lo que, para estudios similares, son variables que se deberían de tomar en cuenta.

Se logró observar un comportamiento más constante en los datos de Panamá que los de Costa Rica a través de los años de 1977 al 2015. No obstante, quedan en la agenda de investigación varios aspectos por estudiar, como es el efecto que tiene la profundización financiera o flujos de capitales tanto de Costa Rica como Panamá sobre las emisiones de CO₂, esto porque como expone Quesada y Olivares en su trabajo cuando existe una profundización financiera y el desarrollo va a generar una atracción de inversión extranjera directa y un aumento de la inversión en investigación y desarrollo, por lo que esto trae consigo un crecimiento acelerado de las economías y por ende afecta el

desempeño de las dinámicas ambientales, es por esta razón que es indispensable el uso de medidas eco-amigables con el ambiente para poder reducir estas afectaciones, ya que sino se logra reducir la producción de CO₂, podríamos llegar al punto máximo de la curva de kuznet, lo que implicaría que no habría más materia prima para poder utilizar y que tendríamos serios problemas ambientales.

BIBLIOGRAFÍA

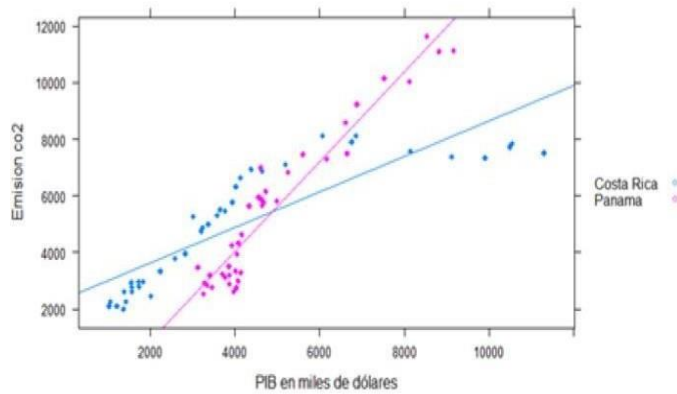
- API_CRI_DS2_es_excel_v2_1362675.xls. (2020). Base de datos del Banco Mundial, base de Costa Rica. [Base de datos]. <https://datos.bancomundial.org/pais/costa-rica>
- API_PAN_DS2_es_excel_v2_1348941.xls. (2020). Base de datos del Banco Mundial, base de Panamá. [Base de datos]. <https://datos.bancomundial.org/pais/panama>
- Callen, T. (2008). Que es el producto interno bruto. <https://www.imf.org/external/pubs/ft/fandd/spa/2008/12/pdf/basics.pdf>
- Campos, M. (2019). Acoplamiento del producto interno bruto a la emisión de gases de efecto invernadero: un limitante para lograr crecimiento verde en Costa Rica. *Revista Nacional de Administración*. Vol.10 (2), 84-87. Acoplamiento del producto interno bruto a la emisión de ... (pdf)
- Campo, J., Olivares, W. (2013). Relación entre las emisiones de CO₂, el consumo de energía y el PIB: El Caso de los CIVETS. *Universidad de Medellín*. Vol.16 (33). 45-54. <http://www.scielo.org.co/pdf/seec/v16n33/v16n33a03.pdf>
- Correa, F., vasco, A., Pérez C. (2005). La curva medioambiental de Kuznets: evidencia empírica para Colombia. *Revista Semestre Económico, Universidad de Medellín, May*. <https://ideas.repec.org/a/col/000217/005595.html#:~:text=La%20hip%C3%B3tesis%20de%20la%20Curva,son%20m%C3%A1s%20ricas%2C%20se%20plantea>
- Fox, J., Weisberg, S. (2019). An R Companion to Applied Regression, Third Edition. Thousand Oaks CA: Sage. URL:<https://socialsciences.mcmaster.ca/jfox/Books/Companion/>
- Gobierno del bicentenario. (2020). Costa Rica registra una reducción del 26% en emisiones de CO₂ por la pandemia. <https://www.presidencia.go.cr/comunicados/2020/08/costa-rica-registra-una-reduccion-del-26-en-emisiones-de-dioxido-de-carbono-por-la-pandemia/#:~:text=El%20estudio%20determina%20que%20entre,acumuladas%20de%20odi%C3%B3xido%20de%20carbono>.
- Martínez, J., Fernández, A. (2004). Cambio climático: una visión desde México. http://awsassets.panda.org/downloads/cambio_climatico_una_vision_desde_mexico_martinez_bremauntz.pdf

- Muñoz, V., Barros, J., Rodríguez, A., Lin, D., González, G. (2019). Evaluación de las emisiones de CO₂ y el factor de emisión de CO₂ de la red eléctrica de Panamá según PNE 2015-2050. Facultad de Ingeniería Eléctrica, Universidad Tecnológica de Panamá.
https://www.researchgate.net/publication/340570755_PAPER_EMISIONES_CO2_PANAMA
- Posada, S., Noguera, R. (2007). Comparación de modelos matemáticos: una aplicación en la evaluación de alimentos para animales. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 20:141-148. file:///C:/Users/lupit/Downloads/Dialnet-ComparacionDeModelosMatematicosUnaAplicacionEnLaEv-3239021%20(1).pdf
- R Core Team (2020). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. UR <https://www.R-project.org/>.
- RStudio Team (2016). RStudio: Integrated Development for R. RStudio, Inc., Boston, MA.
<http://www.rstudio.com/>
- Sarkar, D. (2008). *Lattice: Multivariate Data Visualization with R*. Springer, New York. ISBN 978-0-387-75968-5
- Toledo, E., Benavides, D., Ochoa, D. (2016). Relación entre Emisiones Contaminantes, Crecimiento Económico y Consumo de Energía. *El caso de Ecuador 1971-2010*. *Revista Politécnica*. Vol.38 (1), 1-5.
https://revistapolitecnica.epn.edu.ec/images/revista/volumen38/Relacion_entre_Emisiones_Contaminantes_Crecimiento_Economico_y_Consumo_de_EnergiaEl_caso_de_Ecuador_1.pdf
- Vergara, J., Maza, F., Quesada, V. (2017). Crecimiento económico y emisiones de CO₂: el caso de los países suramericanos. *Revista Espacios*, Vol.39(13), 3-6.
<https://www.revistaespacios.com/a18v39n13/a18v39n13p17.pdf>
- Wright, K. (2018). corrgram: Plot a Correlogram. R package version 1.13.
<https://CRAN.R-project.org/package=corrgram>
- Zeileis, A., Hothorn, T. (2002). Diagnostic Checking in Regression Relationships. *R News* 2(3), 7-10. URL <https://CRAN.R-project.org/doc/Rnews/>

ANEXOS

Figura 1

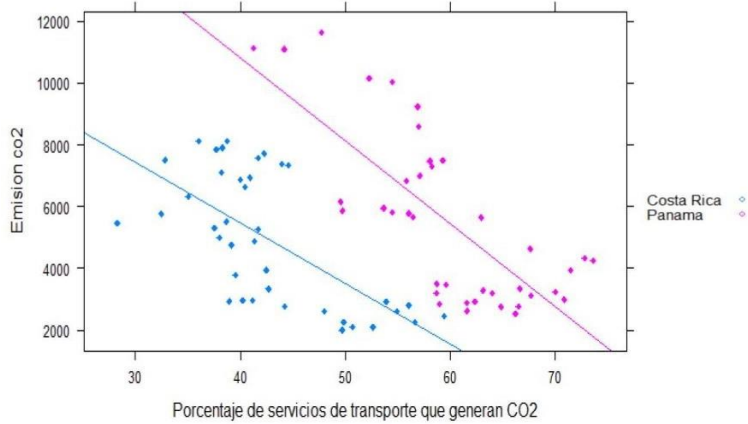
Costa Rica y Panamá. Emisiones de CO2 según PIB en miles de dólares por país. 1977-2015.



Fuente: datos.bancomundial.org/pais/costa-rica y datos.bancomundial.org/pais/panama

Figura 2

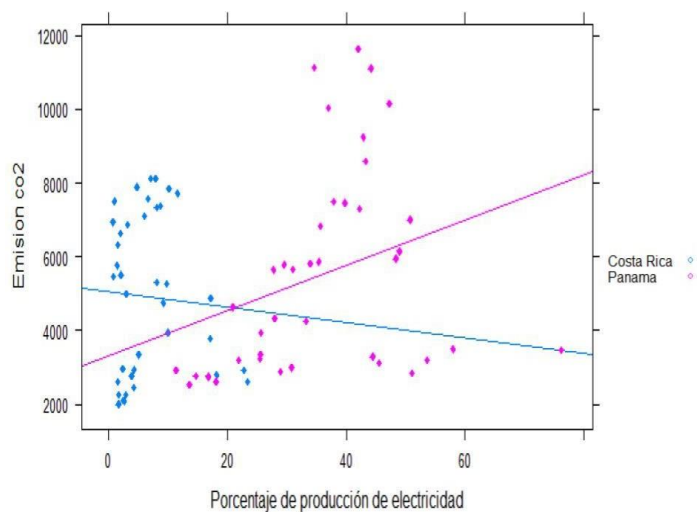
Costa Rica y Panamá. Emisiones de CO2 según porcentaje de servicios de transporte por país, 1977-2015.



Fuente: datos.bancomundial.org/pais/costa-rica y datos.bancomundial.org/pais/panama

Figura 3

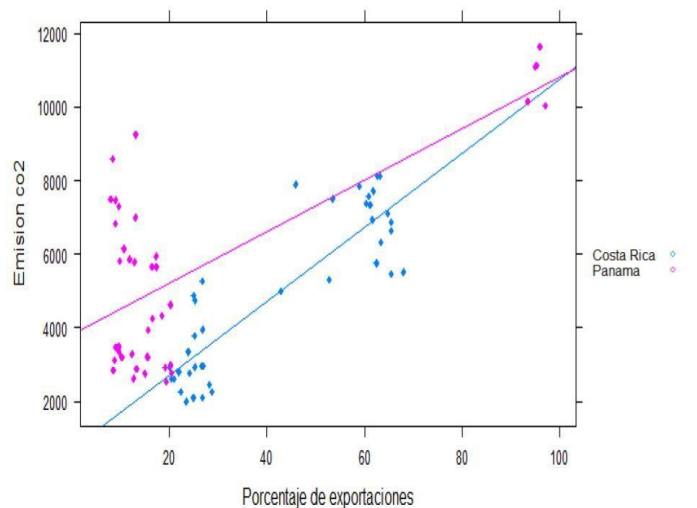
Costa Rica y Panamá. Emisiones de CO2 según porcentaje de producción de electricidad por país, 1977-2015.



Fuente: datos.bancomundial.org/pais/costa-rica y datos.bancomundial.org/pais/panama

Figura 4

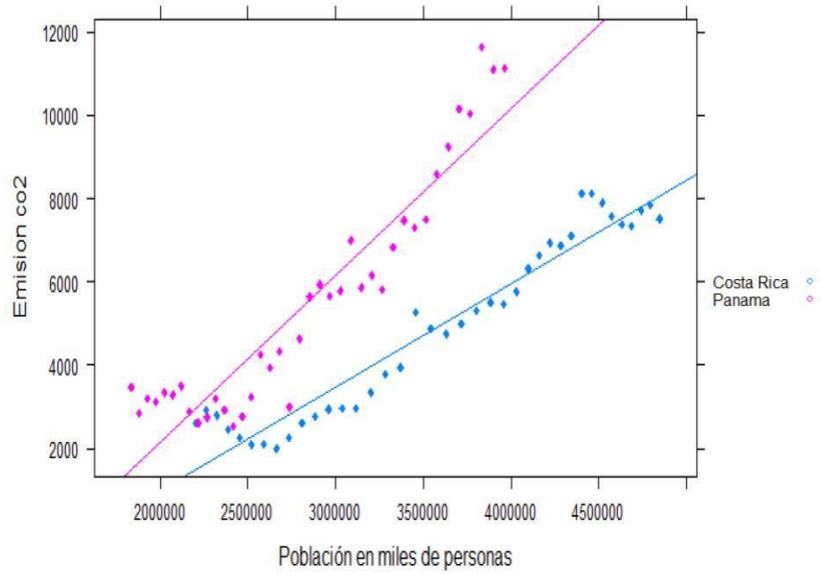
Costa Rica y Panamá. Emisiones de CO2 según porcentaje de exportaciones de productos manufacturados por país, 1977-2015.



Fuente: datos.bancomundial.org/pais/costa-rica y datos.bancomundial.org/pais/panama

Figura 5

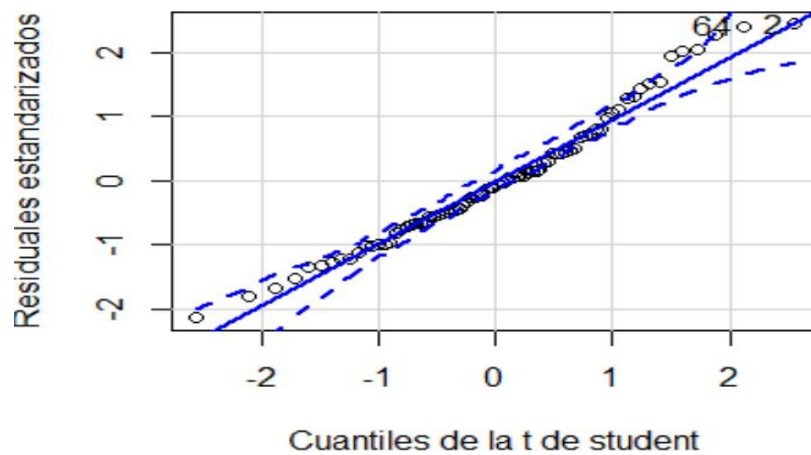
Costa Rica y Panamá. Emisiones de CO2 según población en miles de personas por país, 1977-2015.



Fuente: datos.bancomundial.org/pais/costa-rica y datos.bancomundial.org/pais/panama

Figura 6

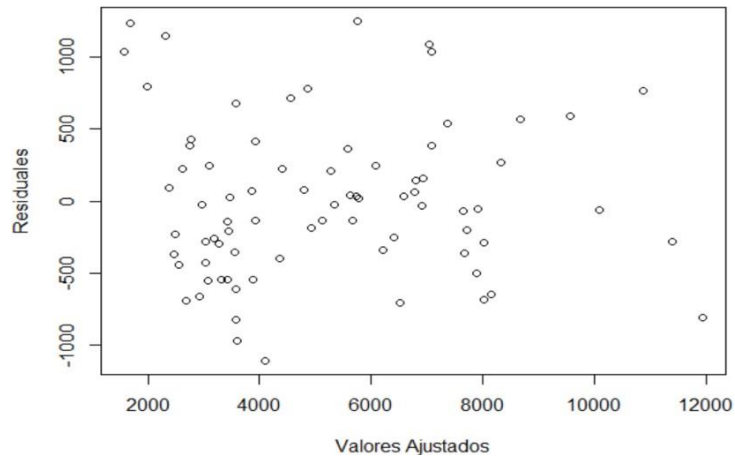
Residuales estudentizados según valores teóricos para el modelo ajustado



Fuente: datos.bancomundial.org/pais/costa-rica y datos.bancomundial.org/pais/panama

Figura 7

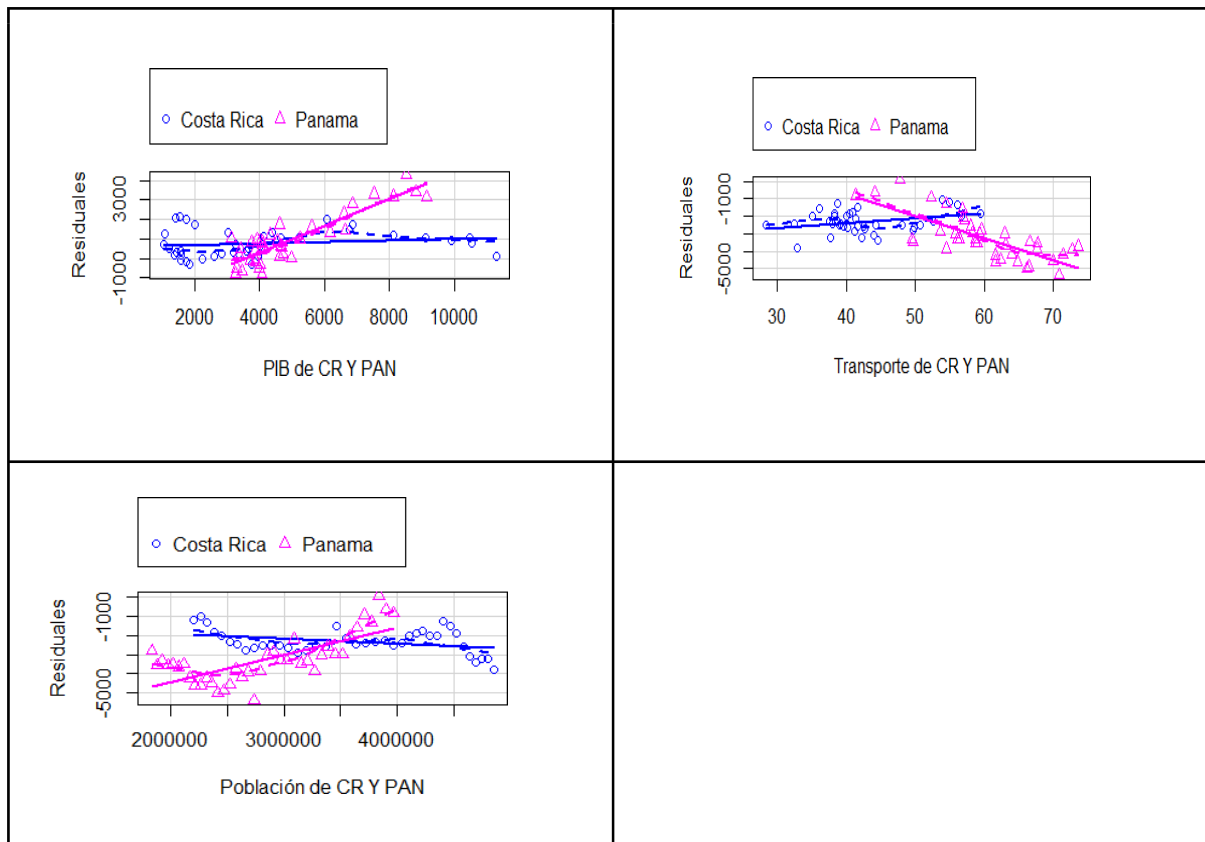
Residuales del modelo y sus valores propios.



Fuente: datos.bancomundial.org/pais/costa-rica y datos.bancomundial.org/pais/panama

Figura 8

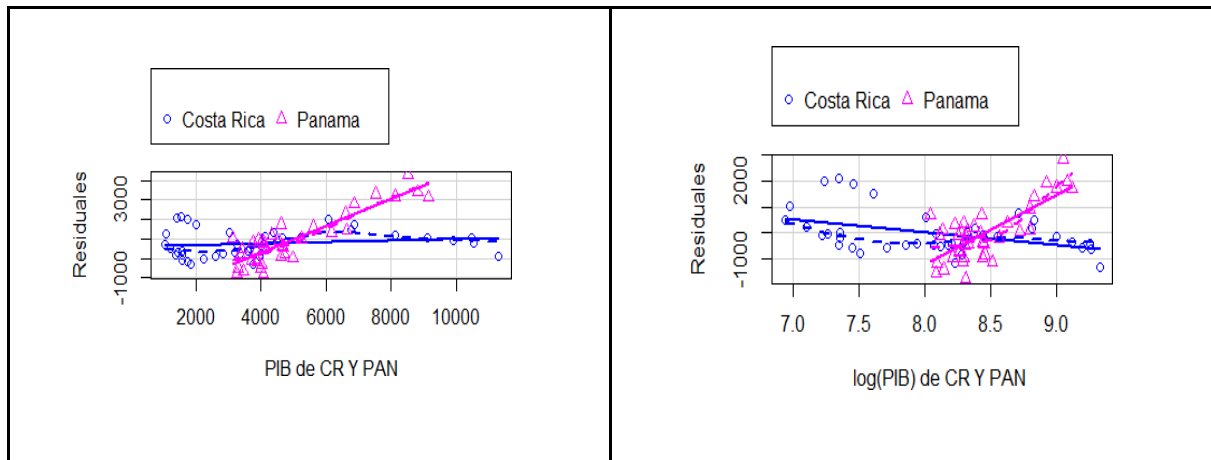
Costa Rica y Panamá: residuales parciales con pib, población y transporte entre los años de 1977 al 2015.



Fuente: datos.bancomundial.org/pais/costa-rica y datos.bancomundial.org/pais/panama

Figura 9

Costa Rica y Panamá: representación del supuesto de linealidad del PIB antes y después de realizar la transformación con el logaritmo.



Fuente: datos.bancomundial.org/pais/costa-rica y datos.bancomundial.org/pais/panama

Tabla 1

Factor de inflación de la variancia de las variables transporte, población, log (PIB) y país.

Variable	VIF
trans	4.64
pob	10.65
log(pib)	7.66
país	6.38

Fuente: datos.bancomundial.org/pais/costa-rica y datos.bancomundial.org/pais/panama

Tabla 2

Valores de las estimaciones, errores estándar y p value para cada parámetro del modelo.

Variable	Estimate	Std. Error	Pr(> t)
(Intercept)	-1.1590	2.0480	0.00001 ***
trans	1.2310	1.8510	0.514199
log(pib)	1.3360	3.35900	0.000167 ***
pob	0.0015	0.00031	0.00001 ***
paisPanama	-2.6630	5.77900	0.000018 ***

trans: país Panamá	-6.4850	2.4860	0.011064 *
log(pib): país Panamá	3.7190	5.51400	0.00001***

$R^2_{ajustado}$: 0.9476

Fuente: datos.bancomundial.org/pais/costa-rica y datos.bancomundial.org/pais/panama

Tabla 3

Cuadro del $R^2_{ajustado}$ para los diferentes modelos con las variables servicio de transporte, producto interno bruto, población total y país.

Trans	Log (PIB)	Pob	País	$R^2_{ajustado}$
0	0	1	1	0.843
0	1	1	0	0.776
1	0	1	1	0.850
0	1	1	1	0.841
1	1	0	1	0.774
1	1	1	0	0.768
1	1	1	1	0.848

Fuente: datos.bancomundial.org/pais/costa-rica y datos.bancomundial.org/pais/panama