

## Efecto del consumo de energía renovable en las emisiones de gases de efecto invernadero en países con ingresos bajos y altos

Effect of renewable energy consumption on greenhouse gas emissions in low- and high-income countries

Jonathan Hernández Pérez<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Doctorado en Ciencias en Economía Agrícola, División de Ciencias Económico Administrativas, Universidad Autónoma Chapingo. Km. 38.5 Carretera México-Texcoco Chapingo, México. C.P. 56230. Tel. (595)1083324. [jonahdezp@gmail.com](mailto:jonahdezp@gmail.com)

\*Autor de correspondencia

### Resumen

Las actividades humanas están aumentando las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en el mundo, por lo que es necesario buscar alternativas para reducirlos. El presente trabajo tiene como objetivo determinar el efecto que tiene el uso de energías renovables y el crecimiento económico sobre las emisiones de GEI (de 1990 a 2012) en dos grupos de países, uno con ingreso per cápita bajo y otro con ingreso per cápita alto según la clasificación del Banco Mundial (BM), mediante un análisis de datos panel. Asimismo, se realizó una regresión por mínimos cuadrados ordinarios (MCO) del modelo para México y Alemania. Los resultados del análisis indican que un incremento del 1% en el consumo de energías renovables reducen las emisiones de gases de efecto invernadero 0.0294% en el grupo de países con ingresos altos y 0.0171% en el grupo de países con ingresos bajos. Además, cuando aumenta el 1% en el ingreso per cápita, aumentan las emisiones de gases de efecto invernadero en 3.5935% en los países con ingresos altos y 11.6974% en los países con ingreso bajos. De la misma manera, con el incremento del 1% en el consumo de energía renovable, las emisiones de GEI se reducen en 31 219.9 kt de CO<sub>2</sub> en México y 18 160.0 kt de CO<sub>2</sub> en Alemania. En conclusión, el consumo de energías renovables contribuye a mejorar la calidad ambiental al reducir el consumo de otras fuentes de energías no renovables.

**Palabras clave:** Contaminación ambiental; crecimiento económico; panel; efectos fijos; efectos aleatorios.

### Abstract

Human activities are increasing greenhouse gas (GHG) emissions in the world; therefore, it is necessary to look for alternatives to reduce them. The present work aims to determine the effect that the use of renewable energies and economic growth have on GHG emissions (from 1990 to 2012) in two groups of countries, one with low per capita income and one with high per capita income according to the World Bank classification, by means of a panel data analysis. As well, an ordinary least squares regression was carried out on the model for Mexico and Germany. The results of the analysis indicate that a 1% increase in the consumption of renewable energy reduces GHG emissions by 0.0294% in the group of high-income countries and 0.0171% in the group of low-income countries. Furthermore, when per capita income increases by 1%, GHG emissions increase by 3.5935% in high-income countries and 11.6974% in low-income countries. In the same way, with a 1% increase in the consumption of renewable energy, GHG emissions are reduced by 31 219.9 kt of CO<sub>2</sub> in Mexico and 18 160.0 kt of CO<sub>2</sub> in Germany. In conclusion, renewable energy consumption contributes to improve environmental quality by reducing the consumption of other non-renewable energy sources.

**Keywords:** Environmental pollution; economic growth; panel; fixed effects; random effects.

Recibido: 18 de octubre de 2020

Aceptado: 10 de septiembre de 2021

Publicado: 17 de noviembre de 2021

**Cómo citar:** Hernández Pérez, J. (2021). Efecto del consumo de energía renovable en las emisiones de gases de efecto invernadero en países con ingresos bajos y altos. *Acta Universitaria* 31, e3030. doi. <http://doi.org/10.15174/au.2021.3030>

## Introducción

Las actividades humanas están aumentando las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en todo el mundo, especialmente en las naciones con altos ingresos (Mensah *et al.*, 2018), resultado del aumento de la población y del incremento en la demanda de energía (Riti *et al.*, 2018), estimuladas también por el crecimiento económico (Lu, 2017). En consecuencia, crecen las amenazas del calentamiento global y del cambio climático.

Los gobiernos y las organizaciones están tomando medidas y acuerdos para mitigar estos efectos. Por ejemplo, en la convención marco de las naciones unidas sobre el cambio climático se acuerda la estabilización de las concentraciones de GEI en la atmósfera a un nivel que impida interferencias antropógenas peligrosas en el sistema climático. El protocolo de Kyoto establece que los países industrializados controlen y reduzcan las emisiones de GEI (Khan *et al.*, 2018). Asimismo, el acuerdo de París establece que “las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero alcancen su punto máximo y empiecen a descender lo antes posible”, esto para mantener el incremento de la temperatura muy por debajo de 2 °C, limitándolo o tratando que solo sea de 1.5 °C; hasta la fecha, 187 partes han ratificado este acuerdo (United Nations Framework Convention on Climate Change [UNFCCC], 2020). La Organización de las Naciones Unidas (ONU) plantea en el objetivo 13 de los objetivos del desarrollo sostenible (ODS) adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos, a través del cambio de actitudes, y recurrir a energías renovables (ER) y a otras soluciones para reducir las emisiones.

El crecimiento económico y el uso de ER podrían reducir las emisiones de GEI, por lo que es importante comprender mejor las relaciones entre estas variables. El presente trabajo tiene como objetivos (1) determinar el efecto que tiene el uso de energías renovables y el crecimiento económico sobre las emisiones de gases de efecto invernadero en dos grupos de países, uno con ingreso *per cápita* bajo y otro con ingreso *per cápita* alto, según la clasificación del Banco Mundial (BM), y (2) determinar el comportamiento de estas variables en México y Alemania. Esto dará un nuevo enfoque al agrupar países con ingreso *per cápita* bajo y de ingreso *per cápita* alto, según la clasificación del BM. Asimismo, se espera que mayores ingresos *per cápita* y mayor consumo de ER reduzcan las emisiones de GEI para ambos grupos de países. Las siguientes secciones del documento tratan la revisión de literatura, materiales y método, resultados y discusión, así como conclusiones.

## Revisión de literatura

Liobikienė & Butkus (2017) analizaron el impacto del crecimiento económico, las ER y la eficiencia energética en las emisiones de GEI para 180 países (de 1990 a 2011) utilizando el análisis de panel con efectos fijos y aleatorios. Encontraron que, si aumenta en 1% la participación de ER en el consumo total de energía final, la contaminación por GEI se reduce en 0.92%, y que por cada punto porcentual en el crecimiento económico las emisiones de GEI aumentaban 0.18%.

Gill *et al.* (2018) analizaron la curva ambiental de Kuznets (EKC por sus siglas en inglés) en Malasia durante el periodo de 1970 a 2011. Estos autores concluyeron que los GEI están aumentando con el crecimiento económico y que la producción de ER tiene un efecto negativo en la emisión de CO<sub>2</sub>. También, Cardoso *et al.* (2018) encontraron que el crecimiento del 1% en el producto interno bruto (PIB) de Australia provocó incrementos de 15.65% en las emisiones de CO<sub>2</sub> debido a que el 37.8% del consumo de energía proviene del petróleo; esto significa que aún no alcanza el máximo de emisiones y se comporta como un país con ingresos bajos, donde su población pobre exige menos calidad ambiental.

En Turquía, la producción de electricidad a partir de fuentes renovables genera menos emisiones de CO<sub>2</sub> que la producción de electricidad a partir de fuentes no renovables. Esto se debe a que el gobierno turco se ha centrado en las energías renovables desde 2005, al plantearse el objetivo de pasar de 28.9% al 37.6% la participación del consumo de ER de 2013 a 2023 (Bulut, 2017).

El consumo de ER reduce las emisiones de CO<sub>2</sub> a largo plazo, es decir, aseguran la calidad ambiental por mucho más tiempo. El crecimiento económico incrementa las emisiones de CO<sub>2</sub> a corto plazo y las disminuye en el largo plazo, porque a medida que aumenta el PIB, también aumenta el consumo de combustibles fósiles y ER (Riti *et al.*, 2018). Análogamente, Mensah *et al.* (2018), para 28 países de la organización para la cooperación y el desarrollo económicos (OCDE) (de 1990 a 2014), hallaron que la energía no renovable acelera las emisiones, mientras que las fuentes de ER mitigan las emisiones.

El aumento de la ER en un 1% condujo a una disminución de GEI en el intervalo (0.166103; 0.220551) en países de la Unión Europea y Ucrania, en el periodo de 2000 a 2016 (Vasylieva *et al.*, 2019). Baležentis *et al.* (2019) estimaron, mediante un panel de datos de 27 países de la Unión Europea de 1995 a 2015, que un aumento del 1% en el uso de biomasa y un aumento de 1% en el consumo de otras fuentes de ER reducían las emisiones de GEI en 0.089% y 0.025%, respectivamente.

El combustible renovable producido de los desechos o residuos sólidos urbanos contribuye a una reducción de 0.089% en GEI. Aunque la producción de electricidad aumenta las emisiones, serían mucho mayores si no se generara con ER a base de desechos, esto se debe a que 1.2% de la generación eléctrica se produce con residuos sólidos urbanos y 20.86% con ER (Araujo *et al.*, 2017). La inversión verde (inversiones privadas, empleos y valor agregado bruto relacionados con sectores de economía circular) provocó la disminución de GEI en un 3.08% y el aumento en el consumo de ER en un 5.6%, debido a la apertura de los países a la inversión y la transparencia, así como al impulso a los proyectos orientados a ER y tecnologías limpias. La ER redujo los GEI en 5139.85 kt de CO<sub>2</sub> para países de la Unión Europea (Lyeonov *et al.*, 2019).

Las actividades agrícolas aumentan 0.144% las emisiones de CO<sub>2</sub>; sin embargo, el consumo de ER en la agricultura reduce las emisiones de CO<sub>2</sub> en 0.130% (Qiao *et al.*, 2019). En Pakistán, las emisiones de GEI en la agricultura disminuyeron debido al aumento de 1.086% en el consumo de ER y al aumento de 0.124% en el valor agregado de la agricultura de Pakistan, además de un alto consumo de ER igual a 43.81% con respecto al suministro total de energía. Adicionalmente, hay una tendencia creciente en el consumo de ER, como la electricidad de carbón y la hidroelectricidad (Khan *et al.*, 2018).

## Materiales y Métodos

Esta investigación se centró en determinar el efecto en las emisiones de GEI ante los cambios en las variables GEI, ER y PIB en dos grupos de países, así como en México y Alemania.

La primera parte consistió en hacer un análisis de datos panel a dos grupos de países, el primero incluye 22 de los 31 países de ingreso bajo (1 025 USD o menos al año) y el segundo incluye 28 de los 80 países de ingresos altos (12 376 USD o más), según la clasificación de BM (2019), con una serie de datos anuales de 1990 a 2012. El número de países y del periodo estuvo en función de la disponibilidad de datos.

El grupo de países con ingresos bajos lo conformó: Benin, Burkina Faso, Burundi, Chad, Etiopía, Gambia, Guinea, Guinea-Bissau, Haití, Madagascar, Malawi, Malí, Mozambique, Nepal, República Centroafricana, Rwanda, Sierra Leona, Tanzania, Tayikistán, Togo, Uganda y República Yemen.

El grupo de países con ingresos altos lo conformó: Alemania, Australia, Austria, Canadá, Chile, Eslovenia, España, Estados Unidos, Finlandia, Francia, Grecia, Irlanda, Islandia, Israel, Italia, Japón, Luxemburgo, Noruega, Nueva Zelanda, Países Bajos, Panamá, Portugal, Puerto Rico, Reino Unido, República Checa, Suecia, Suiza y Uruguay.

Según Baltagi (20021), los datos de panel pueden medir los efectos mejor que el análisis por separado de corte transversal o el de series de tiempo, debido a que controlan la heterogeneidad individual y la colinealidad entre las variables. El modelo fue similar al planteado por Mensah *et al.* (2018), Qiao *et al.* (2019) y Vasylyeva *et al.* (2019):

$$\ln GEI_{it} = \alpha_0 + \beta_1 ER_{it} + \beta_2 \ln PIB_{it} + \beta_3 (\ln PIB_{it})^2 + u_{it} \quad (1)$$

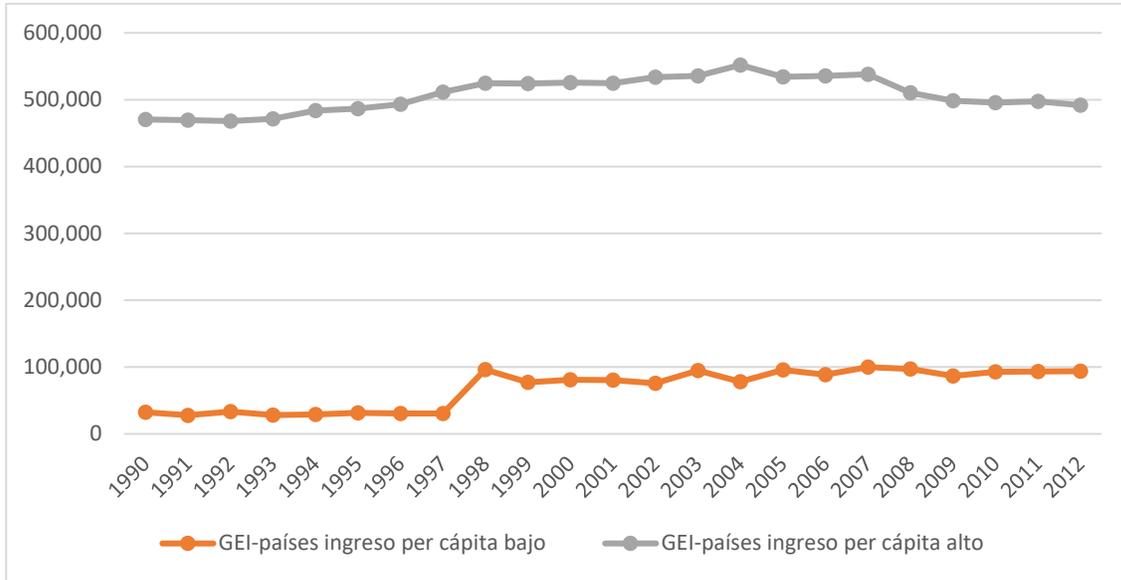
donde GEI representa las emisiones totales de gases de efecto invernadero en kt de CO<sub>2</sub>, estos datos se obtuvieron de DataBank (BM, 2020a); PIB es el producto interno bruto *per cápita* convertido a dólares internacionales a precios constantes de 2011, utilizando las tasas de paridad del poder adquisitivo, los datos se obtuvieron de BM (2020b); ER es la proporción de energía renovable en el consumo total de energía final, los datos se obtuvieron del BM (2020c);  $u_{it}$  es el error compuesto;  $\alpha_0$  es el intercepto; y los  $\beta_i$  son cada uno de los parámetros a estimar de las variables explicativas. Los subíndices  $i$  y  $t$  se refieren a los países y al tiempo.

El error compuesto  $u_{it}$  lo integran el error debido a los datos de corte transversal, el error por series de tiempo y un error meramente aleatorio. Cuando el error de corte transversal es 0, quiere decir que no hay heterogeneidad en los países y se podría utilizar un modelo pool. Cuando el error de corte transversal es diferente para cada país, es necesario utilizar un modelo de efectos fijos, en el que la heterogeneidad inobservable se incluye en  $\alpha_0$ , es decir, toma diferentes valores que el modelo no calcula. Cuando el error de corte transversal es igual para todos los países, las diferencias inobservables se incorporan en el error aleatorio y se utiliza un modelo de efectos aleatorios.

En la segunda parte se hizo una comparación de las emisiones de GEI ante cambios en las variables ER y PIB para México y Alemania. Para esto, se realizó una regresión lineal mediante MCO para el mismo periodo de análisis.

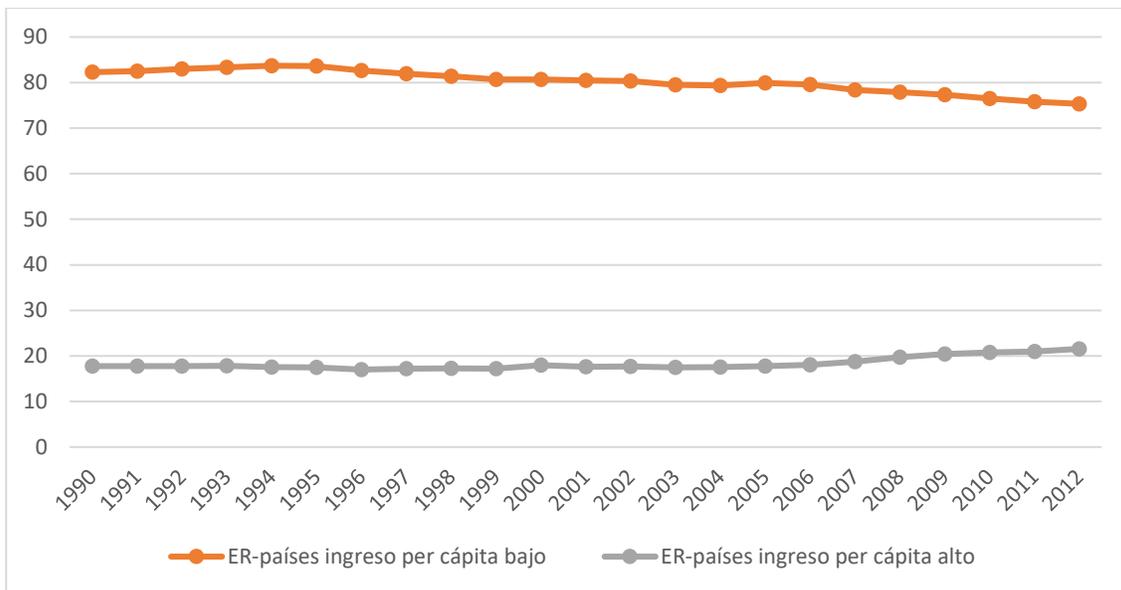
## Resultados y Discusión

Como análisis exploratorio, la Figura 1 muestra una comparación de las emisiones de GEI en los países con ingreso per cápita bajo y en los países con ingreso per cápita alto. Se observa que los países con ingreso per cápita alto emiten más cantidad de GEI que los países con ingreso per cápita bajo. En el grupo de países con ingreso *per cápita* alto hay una tendencia creciente; en cambio, en el grupo de los países con ingreso per cápita alto, en 2004, hay un máximo de emisiones y después empieza a decrecer, así como lo encuentran Baležentis *et al.* (2020).



**Figura 1.** Gases de efecto invernadero (kt de CO<sub>2</sub>) en países de ingreso per cápita bajo y alto.  
Fuente: Elaboración propia con datos del Banco Mundial (2020a).

En la Figura 2 se observa que hay una mayor proporción de consumo de energía renovable sobre el consumo de energía total en los países con ingreso *per cápita* bajo; sin embargo, hay una tendencia a la baja en el consumo de ER, mientras que en el grupo de países con ingreso per cápita alto hay una tendencia creciente, es decir, cada vez están utilizando mayor energía renovable.



**Figura 2.** Proporción de energía renovable en el consumo total de energía final en países de ingreso per cápita bajo y alto.  
Fuente: Elaboración propia con datos del Banco Mundial (2020c).

La primera parte de la estimación econométrica muestran los efectos del consumo de energías renovables (ER) y del ingreso *per cápita* (lnPIB) sobre las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en los países con ingreso *per cápita* alto y en los países con ingreso *per cápita* bajo, para el periodo 1990 a 2012 (Tabla 1).

**Tabla 1.** Parámetros estimados de los modelos.

	Países con ingresos altos					Países con ingresos bajos						
	Pool		Efectos fijos		E. aleatorios	Pool		Efectos fijos		E. aleatorios		
<i>ER</i>	-0.0314 (0.004)	***	-0.0293 (0.002)	***	-0.0294 (0.002)	***	0.0228 (0.006)	***	-0.0171 (0.004)	***	-0.0152 (0.004)	***
lnPIB	32.3590 (4.143)	***	3.5480 (1.031)	***	3.5935 (1.029)	***	-9.7845 (4.316)	**	11.6074 (2.182)	***	11.6384 (2.185)	***
(lnPIB) <sup>2</sup>	-1.5512 (0.202)	***	-0.1567 (0.051)	***	-0.1588 (0.051)	***	0.7046 (0.308)	**	-0.7494 (0.155)	***	-0.7532 (0.155)	***
c	-156.2100 (21.207)	***			-7.9215 (5.262)		42.1973 (14.778)	***			-33.1334 (7.605)	***
F-est	71.0038	***	83.3083	***	255.8830	***	6.9118	***	48.2249	***	135.4370	***
R-cuad	0.2497		0.2896		0.2856		0.0397		0.2312		0.2125	
Obs.	644		644		644		506		506		506	

*Nota:* Variable dependiente: lnGEI; Significancias: 10%\*, 5%\*\* y 1%\*\*\*; Entre paréntesis: error estándar; Entre corchetes: efecto en kt de CO<sub>2</sub>.  
*Fuente:* Elaboración propia con salida de RStudio.

Se aplicaron dos pruebas para conocer la consistencia y elegir el mejor modelo: la prueba del estadístico F y la prueba de Hausman. El primero se refiere al contraste entre el modelo pool versus efectos fijos, el segundo contrasta el modelo de efectos fijos versus efectos aleatorios. Los resultados indicaron que el mejor modelo es el de efectos aleatorios para el grupo de países con ingresos altos, mientras que el mejor modelo para el grupo de países con ingresos bajos fue el de efectos fijos (Tabla 2).

**Tabla 2.** Pruebas de los modelos panel.

	Países con ingresos altos	Países con ingresos bajos
F test	1920.800 ***	206.650 ***
Hausman Test	2.533	14.458 ***

*Fuente:* Elaboración propia con salida de RStudio.

Por lo tanto, el modelo de efectos aleatorios para países con ingreso *per cápita* alto podría escribirse de la siguiente manera:

$$\widehat{\ln GEI} = -7.9215 - 0.0294 ER + 3.5935 \ln PIB - 0.1588 (\ln PIB)^2 \quad (2)$$

El modelo de efectos fijos para países con ingreso *per cápita* bajo podría escribirse de la siguiente manera:

$$\widehat{\ln GEI} = -0.0171 ER + 11.6074 \ln PIB - 0.7494 (\ln PIB)^2 \quad (3)$$

Al hacer este análisis con dos grupos de países, se obtuvo que el consumo de ER reduce las emisiones de GEI, tanto en países con ingreso *per cápita* alto (0.02494%) como en los países con ingreso *per cápita* bajo (0.0171%). Se observa un mayor efecto de estas energías en los países con ingresos altos, esto se debe a una mayor inversión y desarrollo en energías renovables.

Una mayor producción *per cápita*, o crecimiento del PIB *per cápita*, genera incrementos en las emisiones de GEI en ambos grupos de países, pero 3.2 veces mayor en los países con ingreso *per cápita* bajo, es decir, 3.5935% *versus* 11.6074%. Esto se debe a que la mayoría de estos países se encuentran en desarrollo, con mayores tasas de crecimiento del PIB que se traducen en mayor uso de energías fósiles y, por lo tanto, en mayor contaminación ambiental.

Estos resultados contrastan con los obtenidos por Liobikienė & Butkus (2017), quienes obtuvieron para 180 países un coeficiente de 0.92%, pero a la vez son similares a los obtenidos por Baležentis *et al.* (2019) para 27 países de la Unión Europea, con un coeficiente de 0.025%. Sin embargo, estos autores no hacen una agrupación de los países según el ingreso *per cápita*.

Los países de ingresos bajos inducen un crecimiento de las emisiones de GEI mayor al de los países con ingresos altos, esto se debe a que, según Baležentis *et al.* (2020), en los países pobres no pueden pagar o acceder a productos ecológicos o electricidad renovable, además de que en los países ricos hay una mayor preocupación por la calidad ambiental. Adicionalmente, el ritmo de crecimiento de las variables no es igual para los dos grupos de países, y esto también determina el impacto en el medio ambiente (Bjelle *et al.*, 2021).

En la segunda estimación econométrica se comparó el efecto que tienen las variables ER y PIB en las emisiones de GEI de México y Alemania. Los resultados fueron que, ante un incremento del 1% en el consumo de ER, los GEI se reducen 31 219.9 kt de CO<sub>2</sub> en México y 18 160.0 kt de CO<sub>2</sub> en Alemania. Esto se debe a que México tiene mayor participación de ER con respecto al consumo total de energía. En México, el promedio del consumo de ER fue de 11.34%, mientras que en Alemania fue de 5.35%, esto para el periodo 1990-2012.

En cuanto a la tasa de crecimiento económico, al incrementarse 1% el PIB *per cápita*, las emisiones se incrementan en 2223.47 kt de CO<sub>2</sub> en México y 530.564 kt de CO<sub>2</sub> en Alemania. Sin duda, el PIB *per cápita* de Alemania es mucho mayor al de México, pero la tasa de crecimiento del PIB *per cápita* de Alemania fue de 1.43% y la de México 1.05% en el mismo periodo. Las emisiones de GEI de Alemania son mucho mayores que en México, pero hay una diferencia; esto es, en Alemania hay una tendencia a la baja, mientras que en México la tendencia es creciente, estas tendencias son similares a los dos grupos de países según su ingreso *per cápita*.

**Tabla 3.** Estimación de los parámetros de los modelos de México y Alemania.

	México	Alemania
Intercepto	933 559***	1 138 970***
ER	-31 219.9***	-18 160.0***
TCPIB	2223.47	530.564
Error (-1)		0.750573***
R <sup>2</sup>	0.654929	0.929972
Prueba F	18.03058	75.25358
Durbin-Watson	1.78894	1.406039
Wite	3.190283 (0.670676)	7.40045 (0.595502)
LM (4)	1.294688 (0.316)	1.244529 (0.34)
Chi-cuadrado	13.474 (0.00119)	0.27911 (0.869745)

*Nota:* Variable dependiente: GEI; Significancia: 1%\*\*\*.  
*Fuente:* Elaboración propia.

Estos resultados concuerdan con los encontrados por Ma *et al.* (2021), quienes reportan que las energías renovables no producen residuos o producen muy pocas emisiones; es decir, las ER proporcionan una solución integral en la que no emiten GEI y mantienen un alto crecimiento y desarrollo.

## Conclusiones

Se realizó un análisis de panel a dos grupos de países según el ingreso *per cápita* y una regresión por mínimos cuadrados ordinarios (MCO) para Alemania y México, para el periodo 1990-2012. Los principales hallazgos encontrados son que el uso de las ER reduce las emisiones de GEI. Es decir, ante incrementos del 1% en el consumo de ER, disminuye la generación de GEI en 0.02494% en los países con ingreso *per cápita* alto y 0.0171% en los países con ingreso *per cápita* bajo. Los efectos son significativos en ambos grupos de países, pero en mayor proporción en los países con ingreso *per cápita* alto. Esto se debe a que los países están optando por ER como la hidroeléctrica, solar y eólica. Esto se comprueba al observar que las emisiones de GEI se reducen en mayor medida en México que en Alemania, porque México tiene mayor consumo de ER. En este sentido, es necesario incrementar el uso de energías renovables para reducir las emisiones y resolver problemas ambientales para contribuir y mitigar el cambio climático.

La inversión, la innovación y el desarrollo de ER contribuyen a mejorar la calidad ambiental al reducir el consumo de otras fuentes de energías no renovables, además de que ayudan a satisfacer las crecientes demandas de energía de la población.

El crecimiento económico (lnPIB) contribuye en mayor medida a las emisiones de GEI, sobre todo en los países con ingreso *per cápita* bajo, incluyendo México.

Estos modelos permiten entender en qué momento de la curva se encuentran ambos grupos de países. Si se encuentran en la etapa descendente de la curva, han alcanzado un máximo en las emisiones de GEI; por otro lado, si aún están en la etapa de crecimiento de la curva de emisiones, los países aún no han alcanzado el punto máximo de emisiones.

## Referencias

- Araujo, H., De Melo, A., Fuinhas, J. A., & Cardoso, A. (2017). Renewable energy and greenhouse gas emissions from the waste sectors of European Union member states: A panel data analysis. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(4), 18770–18781. doi: <https://doi.org/10.1007/s11356-017-9324-7>
- Baležentis, T., Liobikienė, G., Štreimikienė, D., & Sun, K. (2020). The impact of income inequality on consumption-based greenhouse gas emissions at the global level: A partially linear approach. *Journal of Environmental Management*, 267, 110635. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110635>
- Baležentis, T., Streimikiene, D., Zhang, T., & Liobikiene, G. (2019). The role of bioenergy in greenhouse gas emission reduction in EU countries: An Environmental Kuznets Curve modelling. *Resources, Conservation & Recycling*, 142, 225–231. doi: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.12.019>
- Baltagi, B. (2021). *Econometrics analysis of panel data*. Springer. doi: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-53953-5>
- Banco Mundial (BM). (2019). *Nueva clasificación de los países según el nivel de ingresos para 2019 y 2020*. Banco Mundial. <https://blogs.worldbank.org/es/opendata/nueva-clasificacion-de-los-paises-segun-el-nivel-de-ingresos-para-2019-y-2020>
- Banco Mundial (BM). (2020a). *Emisiones de gases de efecto invernadero totales (kt de equivalente de CO2)*. Banco Mundial. <https://datos.bancomundial.org/indicador/EN.ATM.GHGT.KT.CE?view=chart>
- Banco Mundial (BM). (2020b). *PIB per cápita, PPA (\$ a precios internacionales constantes de 2011)*. Banco Mundial. <https://datos.bancomundial.org/indicador/NY.GDP.PCAP.PP.KD?view=chart>
- Banco Mundial (BM). (2020c). *Consumo de energía renovable (% del consumo total de energía final)*. Banco Mundial. <https://datos.bancomundial.org/indicador/EG.FEC.RNEW.ZS?view=chart>
- Bjelle, E., Wiebe, K., Többen, J., Tisserant, A., Ivanova, D., Vita, G., & Wood, R. (2021). Future changes in consumption: The income effect on greenhouse gas emissions. *Energy Economics*, 95, 105114. doi: <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2021.105114>
- Bulut, U. (2017). The impacts of non-renewable and renewable energy on CO2 emissions in Turkey. *Environmental Science and Pollution Research*, 24, 15416–15426. doi: <https://doi.org/10.1007/s11356-017-9175-2>
- Cardoso, A., Fuinhas, J., & Leal, P. (2018). The impact of economic growth on CO2 emissions in Australia: The environmental Kuznets curve and the decoupling index. *Environmental Science and Pollution Research*, 25, 1–14. doi: <https://doi.org/10.1007/s11356-018-2768-6>
- Gill, A., Viswanathan, K., & Hassan, S. (2018). A test of environmental Kuznets curve (EKC) for carbon emission and potential of renewable energy to reduce greenhouse gases (GHG) in Malaysia. *Environment, Development and Sustainability*, 20, 1103–1114. doi: <https://doi.org/10.1007/s10668-017-9929-5>
- Khan, M., Ali, Q., & Ashfaq, M. (2018). The nexus between greenhouse gas emission, electricity production, renewable energy and agriculture in Pakistan. *Renewable Energy*, 118, 437–451. doi: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.11.043>
- Liobikienė, G., & Butkus, M. (2017). Environmental Kuznets Curve of greenhouse gas emissions including technological progress and substitution effects. *Energy*, 135, 237–248. doi: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.06.120>
- Lu, W. (2017). Greenhouse gas emissions, energy consumption and economic growth: A panel cointegration analysis for 16 Asian countries. *Environmental Research and Public Health*, 14(11), 1436. doi: <https://doi.org/10.3390/ijerph14111436>
- Lyeonov, S., Pimonenko, T., Bilan, Y., Štreimikienė, D., & Mentel, G. (2019). Assessment of green investments' impact on sustainable development: Linking gross domestic product per capita, greenhouse gas emissions and renewable energy. *Energies*, 12(20), 3891. doi: <https://doi.org/10.3390/en12203891>

- Ma, X., Ahmad, N., & Oei, P. (2021). Environmental Kuznets curve in France and Germany: Role of renewable and nonrenewable energy. *Renewable Energy*, 172, 88-99. doi: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.03.014>
- Mensah, C., Long, X., Boamah, K., Bediako, I., Dauda, L., & Salman, M. (2018). The effect of innovation on CO<sub>2</sub> emissions of OCED countries from 1990 to 2014. *Environmental Science and Pollution Research*, 25. doi: <https://doi.org/10.1007/s11356-018-2968-0>
- Qiao, H., Zheng, F., Jiang, H., & Dong, K. (2019). The greenhouse effect of the agriculture-economic growth-renewable energy nexus: Evidence from G20 countries. *Science of the Total Environment*, 671, 722–731. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.336>
- Riti, J., Song, D., Shu, Y., Kamah, M., & Atabani, A. (2018). Does renewable energy ensure environmental quality in favour of economic growth? Empirical evidence from China's renewable development. *Quality & Quantity*, 52, 2007-2030. doi: <https://doi.org/10.1007/s11135-017-0577-5>
- United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). (2020). Paris Agreement - Status of Ratification. United Nations. <https://unfccc.int/process/the-paris-agreement/status-of-ratification>
- Vasylieva, T., Lyulyov, O., L., Bilan, Y., & Streimikiene, D. (2019). Sustainable economic development and greenhouse gas emissions: The dynamic impact of renewable energy consumption, GDP, and corruption. *Energies*, 12(17), 3289. doi: <https://doi.org/10.3390/en12173289>