

# RELACIÓN ENTRE EL CONSUMO DE ENERGÍAS RENOVABLES, PRODUCTO INTERNO BRUTO Y EMISIONES DE CO<sub>2</sub>: EL CASO DE MÉXICO

Torres González, Carlos Iván (1), Mosiño Jasso, Alejandro (2)

1 [Licenciatura en economía, Universidad de Guanajuato] | [ivango\_torres@hotmail.com]

2 [Departamento de Economía y Finanzas, División de Ciencias Económico Administrativas, Campus Guanajuato, Universidad de Guanajuato] | [alejandro.mosino@gmail.com]

## Resumen

En esta investigación estudiamos la relación entre el consumo de energías renovables, el producto interno bruto (PIB) y las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) para México. Observamos y analizamos el comportamiento de las variables a través del tiempo. Hacemos un modelo de vectores autorregresivos (VAR) para conocer la influencia que tienen las variables unas con las otras, y evaluamos lo que sucedería si hubiera un impacto positivo en el consumo de energías renovables. Nuestros resultados sugieren que el PIB y las emisiones de CO<sub>2</sub> influyen significativamente en el consumo de energías renovables, y que las emisiones de CO<sub>2</sub> tiene influencia sobre el PIB.

## Abstract

In this paper, we study the relationship between renewable energy consumption, gross domestic product (GDP), and carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) emissions in Mexico. We observe and analyze the behavior of these variables over time. We use a vector autorregressive (VAR) model to know the relationship among variables, and evaluate what si the effect of a positive shock on the consumption of renewable energies. Our results suggest that GDP and CO<sub>2</sub> emissions significantly influence the consumption of renewable energy, and that CO<sub>2</sub> emissions also affect GDP.

## Palabras Clave

Energías renovables; Crecimiento económico; Modelo VAR.

## INTRODUCCIÓN

Durante las últimas dos décadas, el cambio climático ha sido una de las principales preocupaciones en todos los países del mundo. Este tema ha sido discutido en diferentes reuniones internacionales (como el protocolo de Kyoto, 1997), donde se ha acordado reducir las emisiones de gas de efecto invernadero (GEI), ya que son considerados el principal responsable del calentamiento global, el cual causa todos estos radicales cambios climáticos.

### Dióxido de carbono, energía renovable y crecimiento económico

El dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) es un gas vital para la vida de la tierra. Sin embargo, al ser uno de los principales GEI, la emisión exagerada de este compuesto se ha asociado como uno de los principales causantes del cambio climático. En México, que es nuestro caso de estudio, se estima que el CO<sub>2</sub> es 46% de los GEI [1]. Por ello la reducción de este gas en particular es vital para controlar el calentamiento global. Las fuentes de energía tradicionales son a base de combustibles fósiles, los cuales por naturaleza emiten mayores cantidades de CO<sub>2</sub>. Existen ofertas alternativas, las fuentes de energía renovables (FER) (energía solar, hidráulica, etc.) que son más limpias y emiten menor cantidad de CO<sub>2</sub>. Por esta razón el uso de FER como sustitutivo de combustibles fósiles es una de las principales estrategias para mitigar las emisiones de CO<sub>2</sub> [2].

La relación entre FER, CO<sub>2</sub> y el crecimiento económico ha sido estudiada con diversos métodos por varios autores, produciendo diferentes conclusiones. De acuerdo a la investigación de Chien & Hu [3], los consumos de FER tienen un efecto positivo indirecto en producto interno bruto (PIB) a través del incremento de formación de

capital. De manera similar, Sardosky [4] encuentra que en el largo plazo el PIB per capita y el CO<sub>2</sub> son las principales variables que conducen el consumo de FER. Tiwari [5] concluye que un shock positivo en el consumo de FER incrementa el PIB y decrece las emisiones de CO<sub>2</sub>. Por otro lado, Chang [2] encontró que no hay una relación simple y directa entre el PIB y la contribución de FER a la oferta energética.

A pesar de que hay numerosas investigaciones del tema, ninguna de estas estudia las relaciones entre las emisiones de CO<sub>2</sub>, el consumo de FER y el PIB para el caso particular de México. Este trabajo busca estudiar estas relaciones en su forma más básica, con el objetivo de crear un preámbulo para investigaciones futuras que puedan adentrarse más en el tema. Seguido de esta introducción presentamos los materiales y métodos utilizados para desarrollar nuestro análisis. Luego presentamos los principales resultados y hacemos una discusión de estos. En la última sección concluimos.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Usaremos un modelo de vectores autorregresivos (VAR) para estudiar la relación que existe entre las emisiones de CO<sub>2</sub>, el consumo de FER y el PIB. Nuestra investigación es similar a la realizada en [5] para la India, aquí lo haremos para México.

Descargamos las series temporales de las tres variables de las bases de datos del Banco Mundial, desde el año de 1990 hasta el 2013, y las ordenamos en una matriz. Después, por medio de un breve análisis gráfico, observamos las características de los datos.

Hacemos ajustes a la matriz. Usamos el logaritmo natural de los datos, para que estos puedan ser comparados en las mismas magnitudes. Además, el cálculo del logaritmo nos permite suavizar las series. Se espera que las series no sean estacionarias (en particular que presenten una

tendencia temporal) por lo que será probable que usemos las primeras diferencias de la matriz, que es la diferencia entre las cantidades de un año respecto al anterior. Esto es deseable para el modelo, pues más allá de la tendencia busca conocer las relaciones entre las variables ante cambios tipo "shocks" de estas. Para comprobar que podemos usar estos datos hacemos las pruebas de cointegración y de raíz unitaria, es necesario que las variables en logaritmos no estén cointegradas (que sean independientes unas de las otras) y que, en primeras diferencias, no tengan raíces unitarias (que no tengan tendencia temporal).

El modelo VAR tal como lo describe [6], es adecuado cuando tratas con series temporales pequeñas o medianas, y con todas las variables endógenas de manera a priori. Es adecuado para nuestro caso ya que la serie temporal que disponemos es relativamente pequeña (23 años), y ya que queremos estudiar las relaciones entre el PIB, CO<sub>2</sub> y FER sin distinciones, estas son endógenas a priori. El método también nos permite calcular y graficar las funciones impulso respuesta y la descomposición de las varianzas de los errores. Aquí solo abordaremos la estimación de los parámetros y las gráficas de impulso respuesta para el consumo de FER.

Con ayuda del programa Gretl, escogemos el orden de retardos apropiado (de acuerdo a los criterios AIC y BIC) y corremos el modelo. Vemos qué variables influyen sobre otras analizando los parámetros obtenidos en las regresiones. Después obtenemos las gráficas de las funciones impulso respuesta para saber cómo afecta un impacto positivo en el consumo de las FER sobre las otras variables.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la primera fila de la gráfica 1 se encuentran graficados los datos en logaritmos, podemos ver que efectivamente hay tendencia para las 3 variables, notamos que tanto el PIB como el CO<sub>2</sub>

aumentan con el tiempo de manera proporcional, mientras que FER disminuye. A pesar de que ha habido un crecimiento económico en México, también lo ha hecho las emisiones contaminantes, pero disminuyendo el consumo de las fuentes alternativas de energía que son más limpias. En la fila 2 de la gráfica 1 se puede apreciar cómo desaparece la tendencia.

Realizando la prueba Dicky-Fuller aumentada se encontró que no se rechaza la existencia de raíz unitaria de los datos en su forma logarítmica, pero se comprueba que se rechaza en primeras diferencias. Con la prueba de Engle-Granger podemos rechazar la cointegración. Esto significa que es apropiado proceder a un modelo VAR con la matriz de primeras diferencias. (véase tabla 1)

Al correr el modelo obtenemos 3 regresiones, una por variable. Se encontró que no hay ninguna variable estadísticamente significativa que explique al PIB; que la única variable estadísticamente significativa que explica al CO<sub>2</sub> es el PIB; y que todas las variables son significativas al explicar a el consumo de FER. Estos resultados nos dicen que el crecimiento económico no es significativamente influido por el consumo de FER o por las emisiones de CO<sub>2</sub>, sin embargo, el crecimiento económico sí influye significativamente a la cantidad de emisiones de CO<sub>2</sub>, y que tanto las emisiones de CO<sub>2</sub>, el crecimiento económico, y el consumo de FER, influyen significativamente en el consumo de FER.

Finalmente evaluamos el efecto de un shock de innovación en el consumo de FER. En la gráfica 2 se puede apreciar cómo un shock positivo en el consumo de FER aumenta las emisiones de CO<sub>2</sub> del siguiente año. Este efecto desaparece aproximadamente por el cuarto año posterior al impacto. En la gráfica 3 observamos cómo un shock positivo en FER afecta positivamente al PIB en el mismo año y al siguiente.

Nuestros resultados coinciden con Chang [2], en el sentido de que no hay una relación bilateral simple

entre el consumo de FER y el PIB; con Sardosky [4], ya que vimos que el PIB y el CO2 influyen bastante en el comportamiento de FER; y parcialmente con Tiwari [5], ya que un shock positivo en el consumo de FER afecta positivamente al PIB, pero no coincide en que disminuya las emisiones de CO2 (en nuestro estudio las aumenta).

## CONCLUSIONES

A pesar de que México no es un país que genere una gran cantidad de CO2 en comparación a otras naciones desarrolladas, los resultados obtenidos generan cierta preocupación, pues el consumo de FER ha decrecido con el tiempo, mientras el CO2 ha ido en aumento. A pesar de que un impacto positivo en el consumo de FER sugiere un incremento en el crecimiento económico, también sugiere, paradójicamente, un incremento en la contaminación por CO2. La investigación hecha no se adentró en las posibles causas de tales resultados, solo queda esperar estudios que puedan hacer un análisis más profundo que explique tales resultados o los contradigan.

## REFERENCIAS

[1] Germán Alarco Tosoni (2005). Crecimiento económico y emisiones de CO2 por combustión de energéticos en México, 2005-2030. Economía mexicana NUEVA ÉPOCA, vol. XV, núm. 2, pp 291-325.

[2]. Ting-Huan Chang, Chien-Ming Huang, Ming-Chih Lee (2009). Threshold effect of the economic growth rate on the renewable energy development from a change in energy price: Evidence from OECD countries.

[3] Chien, T and J.L. Hu (2008), "Renewable Energy: An Efficient Mechanism to Improve GDP" Energy, pp 3045– 3052.

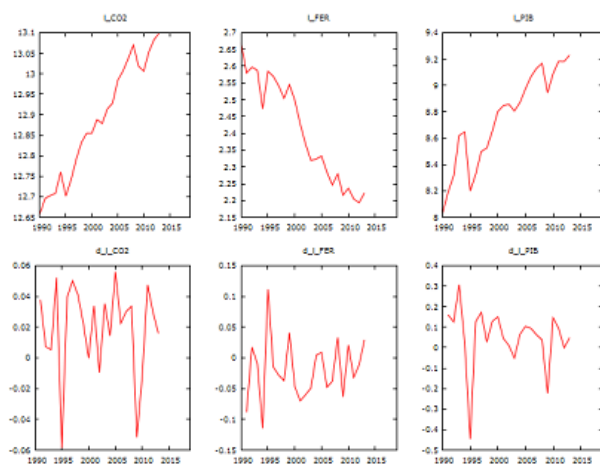
[4] Sadosky, P. (2009), "Renewable energy consumption, CO2 emissions and oil prices in the G7 countries", Energy Economics 31, pp 456–462.

[5] Aviral Kumar Tiwari (2011), A structural VAR analysis of renewable energy consumption, real GDP and CO2 emissions: Evidence from India, Economics Bulletin, 2011, Vol. 31 no.2, pp. 1793-1806.

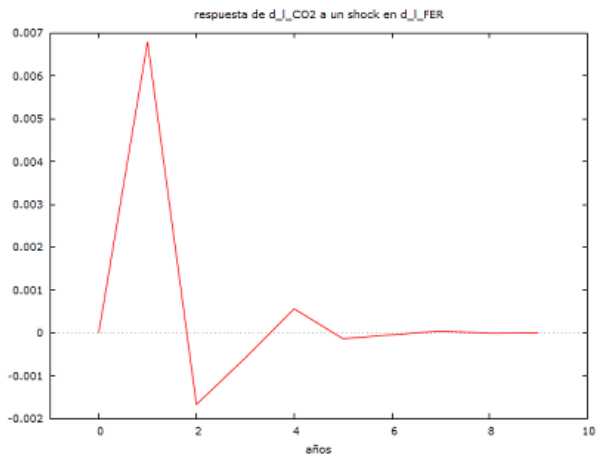
[6] Helmut Lütkepohl, Krätzig Marcus (2004), Applied Time series econometrics (1ed), Cambridge, Cambridge University.

Tabla 1

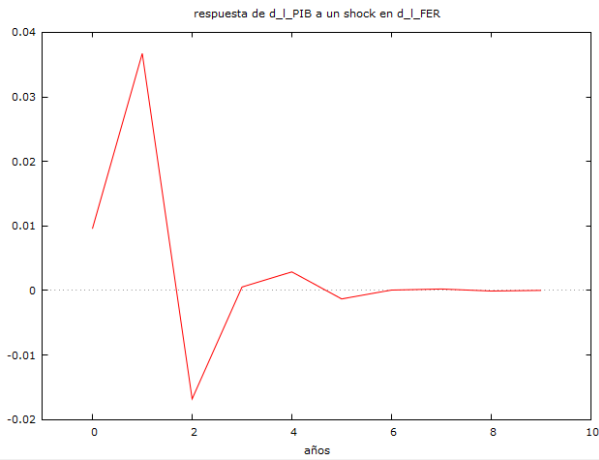
Prueba de raíz unitaria y de cointegración			
Variables	Forma de nivel	Forma logarítmica	Primeras diferencias
RES	t= -0.79*	t= -0.64*	t= -4.65
CO2	t= -0.13*	t= -0.41*	t= -3.95
GDP	t= 0.83*	t= -1.45*	t= -4.75
Residuales	t= -3.35	t= -3.05	t= -3.45
*No se rechaza la existencia de raíz unitaria o cointegración			



Gráfica 1: Comportamiento de las variables a través del tiempo.



**Gráfica 2: Comportamiento de emisiones de CO2 ante un shock en FER**



**Gráfica 3: Comportamiento del PIB ante un shock en FER**