

Estructura económica, crecimiento y emisiones contaminantes en América Latina

Claudia Susana Gómez López

Aportes, Revista de la Facultad de Economía, BUAP, Año XVIII, Número 47, Enero - Abril de 2013

El artículo estudia la relación que existe entre crecimiento económico, estructura económica y emisiones contaminantes (CO₂) para trece economías de América Latina. Para ello, se utiliza análisis de convergencia (beta) y estimación de datos de panel. Los resultados del trabajo son: (i) el consumo de energía y las emisiones de CO₂ en el grupo de economías de América Latina convergieron en el periodo de análisis, (ii) No hay convergencia en el crecimiento económico y en la estructura económica de los países y (iii) los modelos de datos de panel indican que los sectores industrial y de servicios son los que más han incrementado las emisiones de CO₂ para trece economías de América Latina en el periodo 1980 - 2010.

Palabras Clave: América Latina, Emisiones contaminantes (CO₂), crecimiento económico, consumo de petróleo.

Economic structure, growth, and polluting emissions in Latin America

The article studies the relationship between economic growth, economic structure and polluting emissions (CO₂) for thirteen Latin American economies. For this purpose, a convergence analysis (beta) and estimation of panel data are used. The results of the work are: (i) energy consumption and CO₂ emissions in the economies of Latin America Group converged in the analysis period, (ii) there is no convergence in economic growth and the economic structure of countries and (iii) models of panel data indicate that industrial and service sectors are that most have increased CO₂ emissions in thirteen Latin American economies in the period 1980 2010.

Keywords: Latin America, polluting emissions (CO₂), economic growth, oil consumption.

* Es Doctora en Economía por la Universidad Carlos III, España. Profesora investigadora del Departamento de Economía y Finanzas del DCEA de la Universidad de Guanajuato. Sus principales líneas de Investigación son: Crecimiento Económico en Países en Vías de Desarrollo, Cambio Tecnológico y Organización Industrial. Correo electrónico: claudia.gomez@ugto.org

¹ La primera parte del artículo, referente a la revisión de la literatura está publicada en el artículo: Gómez López, C.S., Barrón Arreola, K. y Moreno Moreno L. (2011) «Crecimiento Económico y Medio Ambiente en México» *El Trimestre Económico*. Vol. LXXVIII (3) Julio – septiembre 2011.

1. Introducción

El problema de contaminación ambiental no es trivial. Adquiere importancia en el momento en el que una persona que contamina no sólo se afecta a sí misma, sino que esta contaminación puede desplazarse geográficamente miles de kilómetros. En este sentido, es un problema global. Durante la década de 1960, los científicos demostraron la relación que existía entre los contaminantes de azufre y la acidificación² de los lagos escandinavos. Entre los años 1972 y 1977 se confirmó la hipótesis que los contaminantes del aire pueden viajar varios miles de kilómetros antes de que la deposición y el daño ocurran. La consecuencia principal de tales resultados fue el primer instrumento legal internacional para combatir la contaminación del aire. La Convention of Long Run Transboundary Air Pollution (CLRTAP, por sus siglas en inglés) firmada inicialmente en 1979 por 34 países y la Comunidad Europea (CE). La Convención entró en vigor en 1983 y ha sido ampliada con algunos protocolos que especifican obligaciones o medidas específicas que llevan a cabo los países miembros. Hasta 2006 había 52 miembros y hoy en día es el fundamento de cooperación interna-

² Acidificación es el cambio en el balance químico natural del medio ambiente ocasionado por una concentración de elementos ácidos.

cional para el problema de la contaminación del aire.

Entretanto, se han estudiado otros efectos específicos causados por la contaminación ambiental. El más importante ha sido el del cambio climático. Los cambios en la temperatura de la tierra son el resultado directo de los «gases de efecto invernadero» que son un subproducto de las actividades antropogénicas. Estas son en general las actividades productivas como transporte, industria, generación de energía y generación de basura. Las actividades productivas son las principales fuentes de emisiones contaminantes debido a que consumen grandes cantidades de combustibles fósiles como aceite, gas natural y petróleo, entre otros.

La advertencia de los estudios y resultados fue clara: el cambio climático es perjudicial para el medio ambiente y podría causar problemas ambientales, económicos y sociales importantes. Estos efectos nocivos se incrementarían hasta que los países de todo el mundo tomaran acciones concretas. La forma transnacional por la que el medio ambiente se ve afectado por la contaminación son las emisiones del ambiente. Esto significa que los contaminantes atmosféricos se pueden transportar, gracias al viento varios kilómetros antes de establecerse y causar daño.

Existen trabajos que han estudiado la relación entre crecimiento económico, consumo de energía y emisiones contaminantes, sin embargo, no hay muchos trabajos que lo hayan estudiado tomando en cuenta la estructura económica de los países de América Latina (AL). La pregunta que nos hacemos en este trabajo es si en el grupo de economías de AL hay alguna evidencia de que la estructura económica de las trece economías aquí consideradas influya en la emisión de gases de efecto invernadero y en el consumo de energéticos fósiles. El presente artículo tiene tres objetivos: primero, medir cualitativamente y cuantitativamente la convergencia en emisiones contaminantes y consumo de energía primaria en un grupo de países de AL en el periodo 1980–2010 respectivamente. Dos, observar el rol que tiene la estructura de los países en las emisiones de CO_2 . Finalmente, hacer inferencia acerca de la relación que existe entre consumo de energía primaria, emisiones contaminantes (CO_2) y estructura económica para el grupo de economías de AL consideradas.

En la segunda sección planteamos el problema de la contaminación ambiental y los estudios asociados a éstos y el crecimiento económico como es la curva de Kuznets medioambiental. En la tercera sección se presenta la evidencia empírica para las economías de AL con respecto al uso de energía entendida como consumo de energía primaria y emisiones de contaminación de dióxido de carbono (CO_2). En la cuarta sección se presentan los modelos de convergencia para las variables y los modelos

de datos de panel. Finalmente, en la última sección se presentan las conclusiones del trabajo.

2 *Revisión de la Literatura*

La hipótesis de la Curva Ambiental de Kuznets (EKC por sus siglas en inglés) proviene de la importante cantidad de estudios realizados a inicios de la década de los noventa. La evidencia comenzó a mostrar que en los países desarrollados, ciertas medidas de la calidad de vida inicialmente sufren un deterioro y posteriormente se mejoran; asimismo, existe evidencia de que los niveles de degradación ambiental y los niveles de ingreso per cápita siguen la misma trayectoria de una U invertida, relacionándose así con la desigualdad del ingreso y el ingreso per cápita de la curva original de Kuznets. La relación estadística de la EKC, sugiere que con el desarrollo económico y el progreso industrial, los daños ambientales incrementan hasta el límite la utilización de los recursos naturales, y como resultado, se presenta una mayor emisión de contaminantes, se opera de forma ineficiente y se generaliza el uso de tecnologías relativamente sucias. El proceso de crecimiento económico continúa hasta que la esperanza de vida aumenta, mejora la calidad del agua y el aire, y se genera un hábitat más limpio y mejor evaluado para las decisiones marginales de los individuos acerca de cómo gastar sus ingresos (disponibilidad a pagar). Posteriormente y una vez alcanzado el estado «post-industrial», se combinan las tecnologías, la información y los servicios, lo que incide positi-

vamente en la mejora de la calidad ambiental.

A principios de los años 90, la relación mostrada por la EKC³ encuentra aplicación en nuevos campos de análisis. Destacan los trabajos pioneros de Nemat Shafik y Sushenjit Bandyopahyay [1992], Gene Grossman y Alan Krueger [1995] y Theodore Panayotou [2000] quienes llegan a la conclusión de que la conexión entre algunos indicadores de contaminación y el ingreso per cápita pueden ser representados como una U invertida. Esta relación revela que algunos indicadores de contaminación sufren una mejora, como consecuencia del incremento en los niveles de ingreso y de consumo, lo que se asemeja bastante a una U invertida. En ese marco, generalmente se asume que las economías más ricas dañan y destruyen los recursos naturales de una manera más rápida que las economías pobres dados sus niveles de consumo, es decir, la degradación ambiental tiende a incrementarse a medida que la estructura económica de un país o región cambia de una economía agrícola hacia una industrial, y posteriormente, esta degradación tiende a disminuir a medida que se pasa de un sector industrial intensivo a una economía basada en los servicios [Gene Grossman y Alan Krueger, 1995]. Comúnmente se piensa que la calidad del medio ambien-

te solo puede mejorarse escapando del proceso de industrialización, en ese sentido, de acuerdo a Marinus Komen, Shelby Gerking y Henk Folmer [1997] las economías ricas pueden invertir una mayor cantidad de recursos en investigación y desarrollo, lo que se traduce en avance tecnológico que permite reemplazar tecnologías obsoletas por otras más amigables con el medio ambiente. En muchos casos la relación de la U invertida que genera la EKC, es la mejor alternativa para relacionar los cambios entre el medio ambiente y el crecimiento del ingreso. En el caso de aquellos indicadores que miden la presencia de sulfuro de azufre y óxidos de nitrógeno, es más probable encontrar una relación de U invertida; de forma específica, esta relación también se ha encontrado en los indicadores que miden la demanda biológica y química de oxígeno, para los nitratos y para algunos metales pesados como el arsénico y el cadmio. En otros casos, el incremento de los niveles de ingreso se ve reflejado en una mejora en la calidad del agua de una manera más plausible que en los niveles de contaminación del aire. La hipótesis que sustenta este trabajo es que dada la aceptación de la EKC para algunas variables medio ambientales (MA), es posible observar una serie de implicaciones importantes: i) es inevitable la existencia de una degradación ambiental «parcial» para las economías en desarrollo, especialmente durante el inicio y del proceso de industrialización; ii) cuando una economía alcanza un nivel de ingreso per cápita dado, el crecimiento económico ayuda a disminuir

³ Originalmente, Simon Kuznets [1955:23] sugería que a medida que se incrementa el ingreso per cápita, también se presenta inicialmente un aumento de la desigualdad de ingreso entre los individuos, y posteriormente empieza esta inequidad tiende a disminuir.

el daño ambiental causado. En ese marco, si el crecimiento económico es un elemento que permite el mejoramiento del medio ambiente, entonces las políticas que estimulan el crecimiento, también deben ser buenas para proteger el entorno ambiental. Así pues, el crecimiento del PIB crea las condiciones necesarias para mejorar el medio ambiente a través de estimular la demanda por mejorar la calidad medioambiental. En este último punto, Jordi Roca [2003] argumenta que una vez que el ingreso alcanza cierto nivel, la disponibilidad a pagar por un medio ambiente más limpio aumenta en una mayor proporción que el ingreso.

Masaaki Kijima, Katsumasa Nishide y Atsuyuki Ohyama [2010] también dicen que la relación entre incremento del ingreso y degradación ambiental, puede explicarse por entre otras cosas, los siguientes puntos: *i)* cuando un país alcanza un estándar de vida lo suficientemente alto, la sociedad asigna un valor particular creciente al medio ambiente; por lo tanto, una vez que el ingreso alcanza un nivel dado, la disponibilidad a pagar por un medio ambiente más limpio se incrementa en mayor proporción que el ingreso; *ii)* la degradación ambiental tiende a incrementarse cuando cambia la estructura de la economía, desde rural a urbana o de agrícola a industrial, pero empieza a disminuir de nueva cuenta con otro cambio estructural, cuando se pasa de una industria intensiva en energía hacia los servicios y hacia una economía intensiva en tecnología y conocimiento; *iii)* a medida que una nación rica

puede permitirse el destinar mayores recursos hacia la investigación y desarrollo, entonces el progreso tecnológico se presenta con el crecimiento económico y se reemplazan las tecnologías sucias y obsoletas por otras más limpias y avanzadas; *iv)* finalmente, las características del sistema político y algunos valores culturales, juegan un papel importante en la implementación de políticas públicas amigables con el medioambiente, las que serán adoptadas con mayor facilidad una vez que la economía alcance un elevado nivel de ingreso.

Gene Grossman y Alan Krueger [1995] fueron de los primeros autores en desarrollar un modelo entre la calidad ambiental y el crecimiento económico. En su trabajo, argumentan que para elevados valores de ingreso, se presenta una mejora en la calidad del aire; asimismo, encuentran que el ingreso per cápita de México caía cuando disminuía la calidad del aire. Cabe mencionar que el trabajo de estos autores se realizó en el contexto del debate referido al acuerdo del Tratado de Libre Comercio de América del Norte. A la par de lo que ocurría en Norteamérica, otros países comenzaron a abrir sus mercados y en el caso específico de las empresas, trataron de encontrar aquellas regiones donde existieran los menores estándares de calidad ambiental. En el trabajo se señala, que en el caso específico de las empresas que salieron de Estados Unidos y Canadá hacia México, lo hicieron motivadas principalmente por los estrictos estándares ambientales de estos dos países. Entre las propuestas de Gene Grossman y Alan Krueger,

destaca el argumento de que los incrementos en los ingresos provenientes del comercio podrían dirigirse hacia la implementación de un control ambiental más estricto, es decir, el libre comercio debiera proteger el medio ambiente. Para probar esta hipótesis, los autores aplican la metodología de panel de sección cruzada tomando como variables algunas medidas comparables entre los socios entre las que se encuentra la contaminación del aire en varias áreas urbanas. En el análisis de Gene Grossman y Alan Krueger, se observa que los niveles de dióxido de azufre y de smog en el aire, se incrementan con la presencia de menores niveles de PIB per cápita, sin embargo, estos niveles de contaminación disminuyen a medida que aumentan los niveles de ingreso. Los autores encuentran evidencia estadística de la existencia de una relación entre la EKC y los dos indicadores de calidad ambiental utilizados. El «punto de inflexión» (turning point) ó el nivel en el cual los indicadores de contaminación empiezan a disminuir, se determinó en un rango del PIB per cápita de entre \$4,000 y \$5,000 dólares. Por el contrario, para el caso específico del dióxido de azufre y el smog, no se identifica un punto de cambio, sin embargo, la relación entre la contaminación con estos indicadores y el PIB per cápita, se percibe como un incremento monótono.

Respecto a la estructura de las economías y la posible diferencia entre sectores de la economía, el trabajo seminal de W. Leontief [1970] aporta a nivel nacional como en una matriz de insumo – producto

las externalidades de la contaminación se pueden incorporar en este instrumento. De acuerdo a su artículo, es un ejercicio que es de gran utilidad cuando se observa los efectos adversos sobre el medio ambiente del uso de tecnología moderna y crecimiento económico no controlado.

Earnhart [2004] analiza la heterogeneidad en el tiempo y entre las distintas descargas municipales en el estado de Kansas, en Estados Unidos. Ellos utilizan datos de panel para estructurar el modelo. No encuentran evidencia contundente acerca de que las diferencias en el tiempo y entre agentes (individuos) influyan en el desempeño ambiental.

De esta manera, podemos analizar cómo están relacionadas la estructura económica, el consumo de energéticos fósiles y el desarrollo en la emisión de CO₂ en las economías de América Latina.

3. Tendencias de Emisiones de CO₂ y Estructura Económica en AL

Los datos de emisiones para AL están disponibles a partir de 1980 en la Energy Information Agency (www.eia.gov). Utilizamos las emisiones de CO₂ del consumo de energía total. El PIB y las participaciones de los sectores en la estructura de las economías se tomaron del Banco Mundial y de la UNPD. La economías incluidas en el trabajo son: Argentina, Brasil, Bolivia, Chile, Ecuador, Colombia, Venezuela, México, Costa Rica, Uruguay, Paraguay, Perú y El Salvador. Prácticamente todas las economías analizadas en este trabajo han incrementado en términos generales su

consumo de petróleo y por tanto, sus emisiones de CO_2 ; al mismo tiempo, la estructura de las economías ha cambiado transformándose más hacia el sector de servicios e industrial y cada vez menos hacia el sector agrícola. Esto se refleja en las tendencias de uso de energía y emisiones de CO_2 .

La Figura N. 1 muestra estas tendencias de la relación de las variables consideradas (PIB, Emisiones de CO_2 , Consumo de energías fósiles, IDH y estructura económica en los sectores agrícola, industrial y de servicios) para las trece economías de AL. Para todas las economías, excepto Venezuela han incrementado el uso de la energía de fuentes fósiles. Las emisiones per cápita de CO_2 se han incrementado sostenidamente desde 1980. La Figura N. 3 muestra ambas variables a lo largo del tiempo. En el caso del consumo de energéticos de fuentes fósiles notamos el shock en los precios internacionales del petróleo para las economías, posteriormente, observamos un incremento sostenido en esta variable.

La idea es revisar, desde un punto de vista estadístico, si en el grupo de economías de AL hay alguna evidencia de la relación existente entre consumo de energía (de fuentes fósiles), su estructura económica y la emisión de gases de efecto invernadero... Evolución la entendemos por un aumento / disminución de consumo de petróleo y emisiones de CO_2 ; mejoras en los rangos de emisiones contaminantes y del consumo de energía de las economías a lo largo del tiempo. El principal resultado que encontramos aquí es que las emisiones

contaminantes en AL se incrementaron en el periodo 1980 – 2010.

Analizando la información de acuerdo al crecimiento económico, observamos que en la mayoría de las economías de América Latina, el sector agrícola si bien ha aumentado el valor agregado, la participación en las economías se ha reducido en los treinta años bajo estudio. Uruguay tiene, sin embargo, un comportamiento distinto. Respecto a los sectores industrial y de servicios, se nota un comportamiento en general positivo con el crecimiento económico. Las variables energéticas (consumo de energía de fuentes fósiles) y las emisiones contaminantes (CO_2) muestran una tendencia positiva con el crecimiento económico.

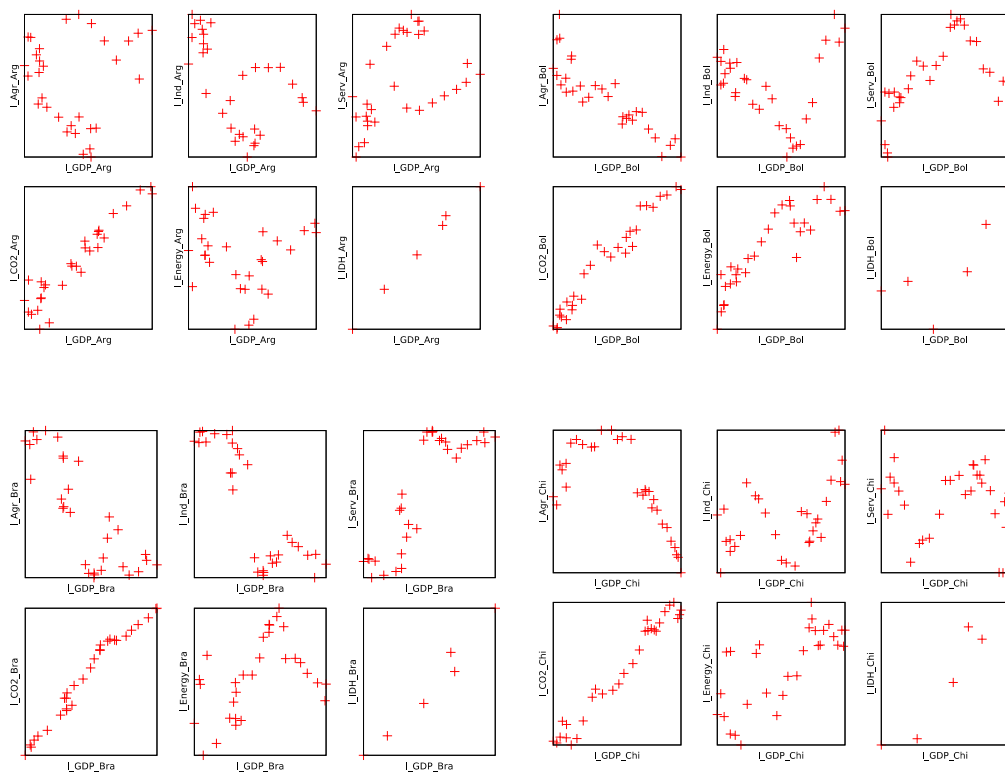
4. *Análisis de Convergencia: 1980 - 2010*

Nuestro enfoque empírico de convergencia en AL comienza con el análisis de una regresión de sección cruzada. Adoptamos la metodología de Robert Barro y Xavier Sala-i-Martin [1992], utilizada comúnmente en la literatura de convergencia del ingreso. Posteriormente extendemos el análisis de convergencia con el análisis de datos de panel.

Todas las economías de AL han incrementado de manera sostenida sus emisiones de CO_2 desde 1980. Esto sugiere un incremento en el consumo de energía y emisiones contaminantes debido al crecimiento económico. Pero que tanto podemos explicarlo desde un punto de vista de sectores económicos?

Una forma de organizar los datos para un análisis sistemático de las diferencias de

FIGURA N. 1 (A)
RELACIÓN ENTRE CRECIMIENTO ECONÓMICO Y VARIABLES ESTRUCTURALES EN AMÉRICA LATINA



las economías se puede tomar de la literatura de convergencia y crecimiento. La idea es evaluar la habilidad de la hipótesis de convergencia para explicar por qué algunas economías han incrementado sus emisiones y uso de energías fósiles y cambiado su estructura económica más rápido que otras. La hipótesis de convergencia con datos de las variables anteriores implica que el crecimiento de las variables entre

1980 – 2010 está directamente relacionado a los niveles de 1980.

Como un primer paso para medir la existencia de convergencia, nos preguntamos si los países de AL que comenzaron con menores niveles de crecimiento de la variable X al principio de nuestra muestra, 1980, han experimentado en promedio, mayores aumentos en sus aumentos de X hasta el año 2010. El enfoque estándar es

FIGURA N. 1 (B)
RELACIÓN ENTRE CRECIMIENTO ECONÓMICO Y VARIABLES ESTRUCTURALES EN AMÉRICA LATINA

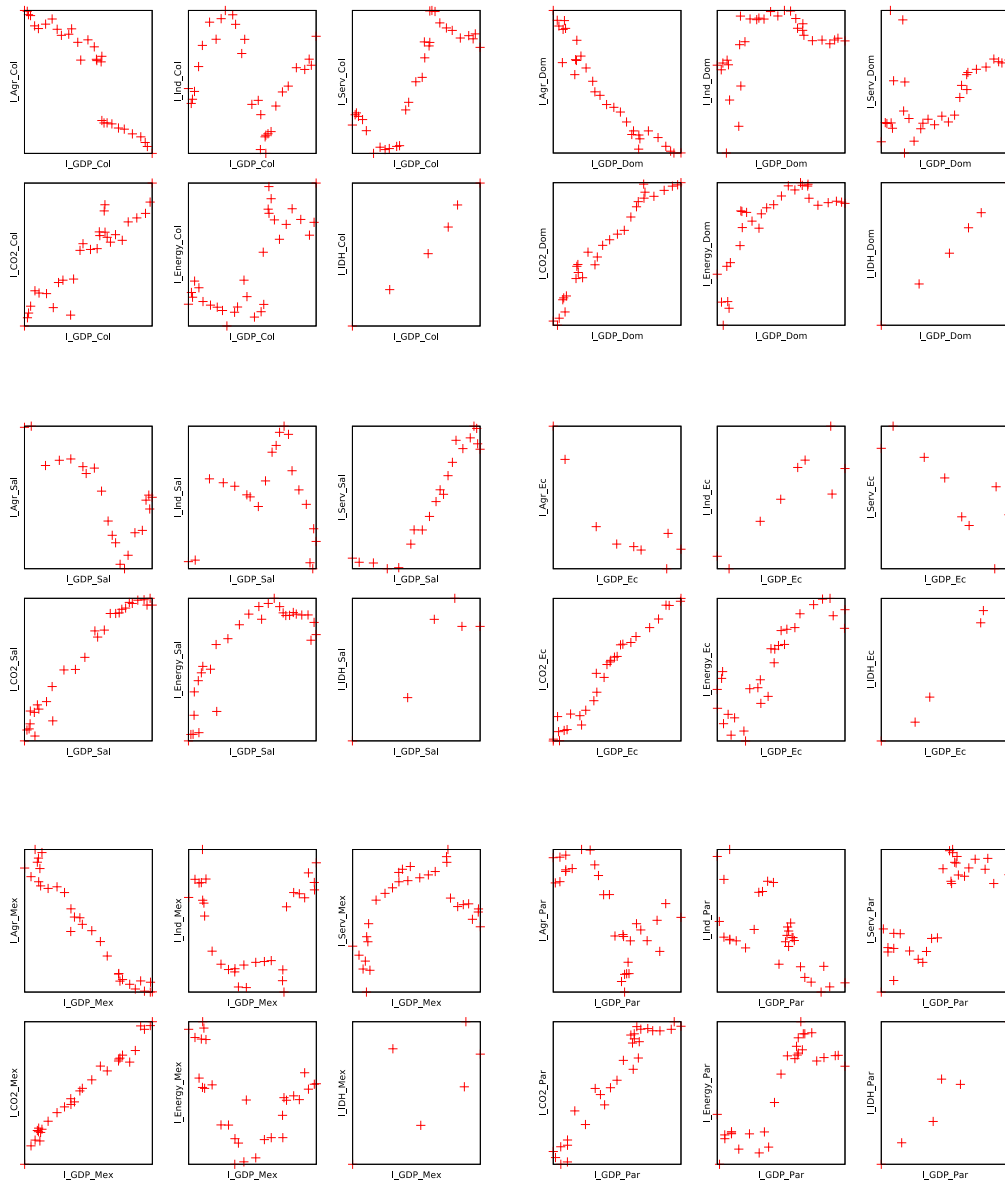
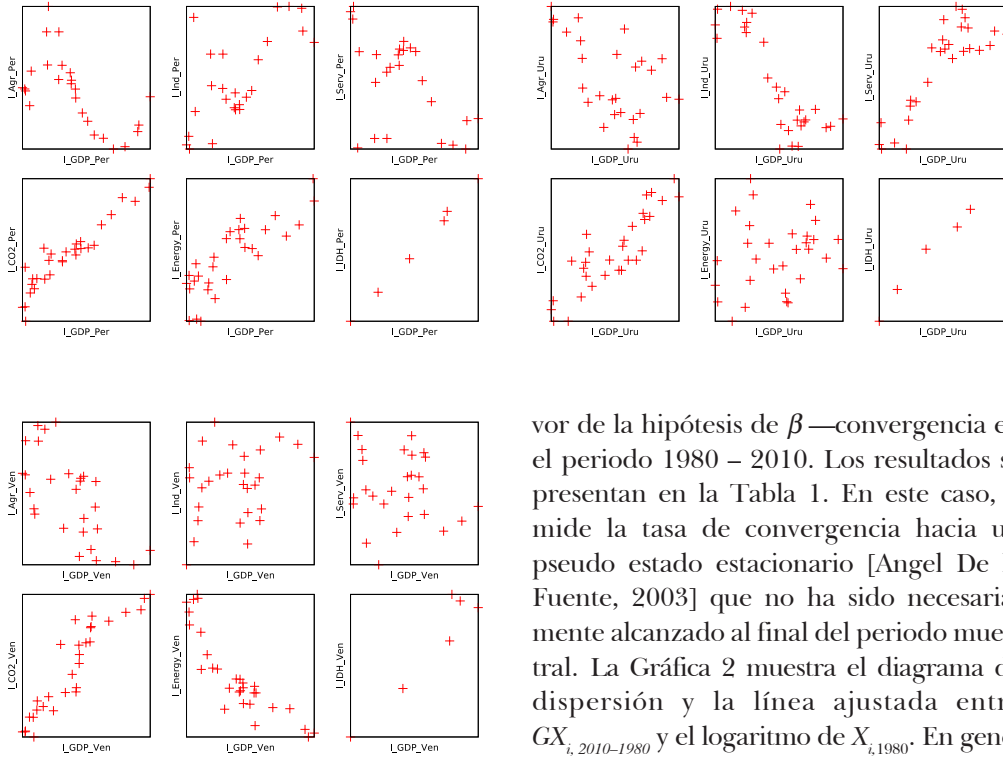


FIGURA N. 1 (C)
RELACIÓN ENTRE CRECIMIENTO ECONÓMICO Y VARIABLES ESTRUCTURALES EN AMÉRICA LATINA



estimar la ecuación:

$$GX_{i,2010-1980} = \alpha + \beta \log(X_{i,1980}) + \varepsilon_i \quad (1)$$

donde el subíndice i se refiere al país i , $X_{i,t}$ es la variable de estudio en el país i en el tiempo t ,

$$GX_{i,2010-1980} = \frac{1}{30} \ln(X_{i,2010}/X_{i,1980})$$

y ε_i es el término de error.

Siempre que β sea negativo y estadísticamente significativo, hay evidencia en fa-

vor de la hipótesis de β —convergencia en el periodo 1980 – 2010. Los resultados se presentan en la Tabla 1. En este caso, β mide la tasa de convergencia hacia un pseudo estado estacionario [Ángel De la Fuente, 2003] que no ha sido necesariamente alcanzado al final del periodo muestral. La Gráfica 2 muestra el diagrama de dispersión y la línea ajustada entre $GX_{i,2010-1980}$ y el logaritmo de $X_{i,1980}$. En general, la relación muestra una tendencia negativa, sin embargo, el grado de dispersión varía entre variables. De acuerdo a las figuras, existe evidencia de convergencia débil en el caso de consumo de energéticos fósiles y emisiones de CO_2 .

La Tabla N. 1 muestra los resultados de las estimaciones. En general, todas las variables muestran un estimador β negativo, sin embargo, no son estadísticamente significativos, excepto para CO_2 y $EnergíasFósiles$ al 95% y 90% niveles de significancia respectivamente. En este caso, no se puede

rechazar la hipótesis nula. Entonces, para las doce economías de AL se tiene evidencia de β convergencia en emisiones de CO_2 y consumo de energéticos fósiles. Esto es: los niveles iniciales de las variables pueden contribuir a explicar por qué algunos países han aumentado sus emisiones contaminantes más rápido que otras economías. Adicionalmente, la evidencia está en favor de convergencia absoluta para las trece economías de AL. Esto implica que los niveles iniciales de emisiones pudieron explicar la dinámica de contaminación de acuerdo a las características observables de las economías. Los resultados no indican que las economías de América Latina se estén acercando entre sí a lo largo del tiempo. Una de las hipótesis iniciales de este trabajo fue plantearse: (i) las economías de América Latina se estaban acercan-

do entre sí estructuralmente y (ii) que la estructura económica de los países en este periodo de tiempo, podría influir en el consumo de energéticos fósiles y por tanto, en los niveles de emisiones de CO_2 .

La primera hipótesis, no se confirma para la estructura de las economías de América Latina estudiadas en este trabajo debido a que no encontramos evidencia de β —convergencia en los sectores primario, terciario y de servicios.

Al utilizar la ecuación (1), la estimación de β podría estar sesgada debido a dos razones: la omisión de variables relevantes y la imposición de un estado estacionario común para todas las economías. Para solucionar este problema utilizamos un modelo de datos de panel utilizando toda la información disponible.

Adicionalmente, una pregunta es si la

TABLA N. 1
ESTIMADORES DE β CONVERGENCIA

| Variable | α | β | R ² |
|---|-----------------------|-------------------------|----------------|
| PIB | 0.02411 (1.4288) | -0.0011 (-0.7052) | 0.043 |
| Agricultura | 0.0021 (0.1233) | 0.0018 (0.3447) | 0.0106 |
| Industria | 0.0189 (1.2073) | -0.0008 (-0.5571) | 0.0274 |
| Servicios | 0.0155 (0.8517) | -0.0002 (-0.1470) | 0.0019 |
| Consumo de Energéticos Fósiles | 0.0252*** (6.2867) | -0.0128*** (-5.7454) | 0.7500 |
| Emisiones de CO2 | 0.0166*** (7.6982) | -0.0036** (-2.4629) | 0.3554 |
| IDH | 0.0032 (2.2389) | 0.0002 (0.0281) | 0.0000 |

El estadístico t se encuentra entre paréntesis. Los símbolos ** y *** significan que los estimadores son significativos al 95 y 99%, respectivamente.

convergencia absoluta en contaminación puede ser explicada por la convergencia en el PIB o por una reducción de la dispersión de los niveles de contaminación en economías de AL, además de la estructura econó-

mica de cada una de ellas y en conjunto, incorporando las características observables de la estructura de la economía de acuerdo a su heterogeneidad entre las economías y en el tiempo.

FIGURA 2 (A)
ESTIMACIÓN DE β CONVERGENCIA DE VARIABLES ESTRUCTURALES EN AMÉRICA LATINA

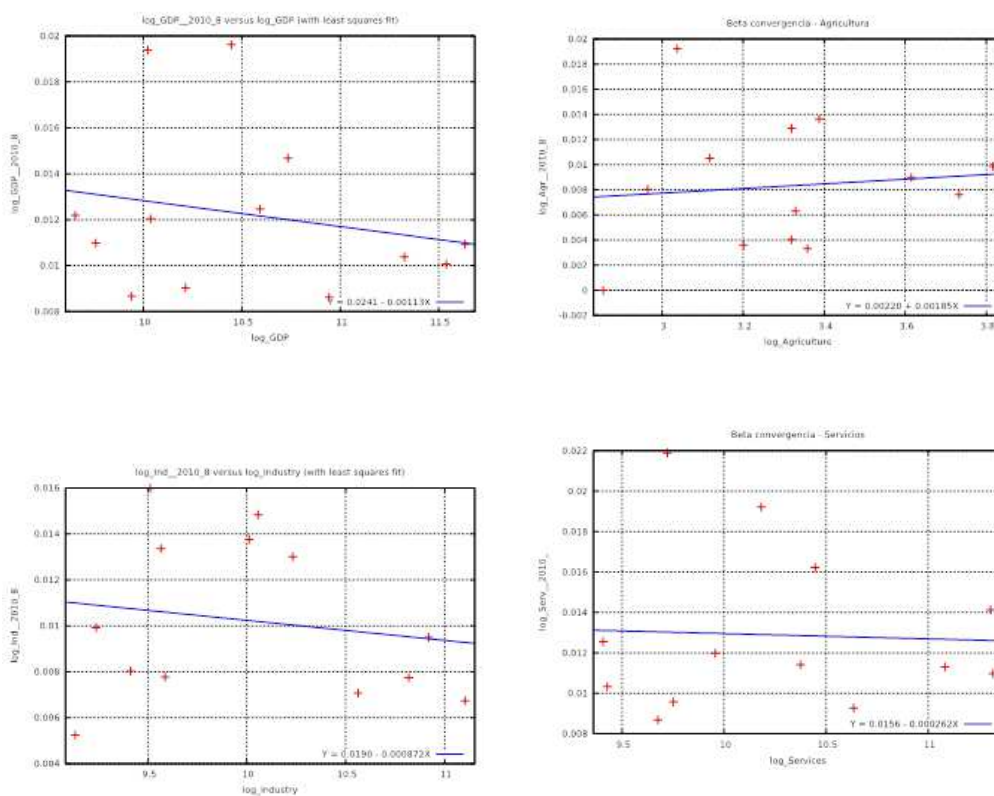
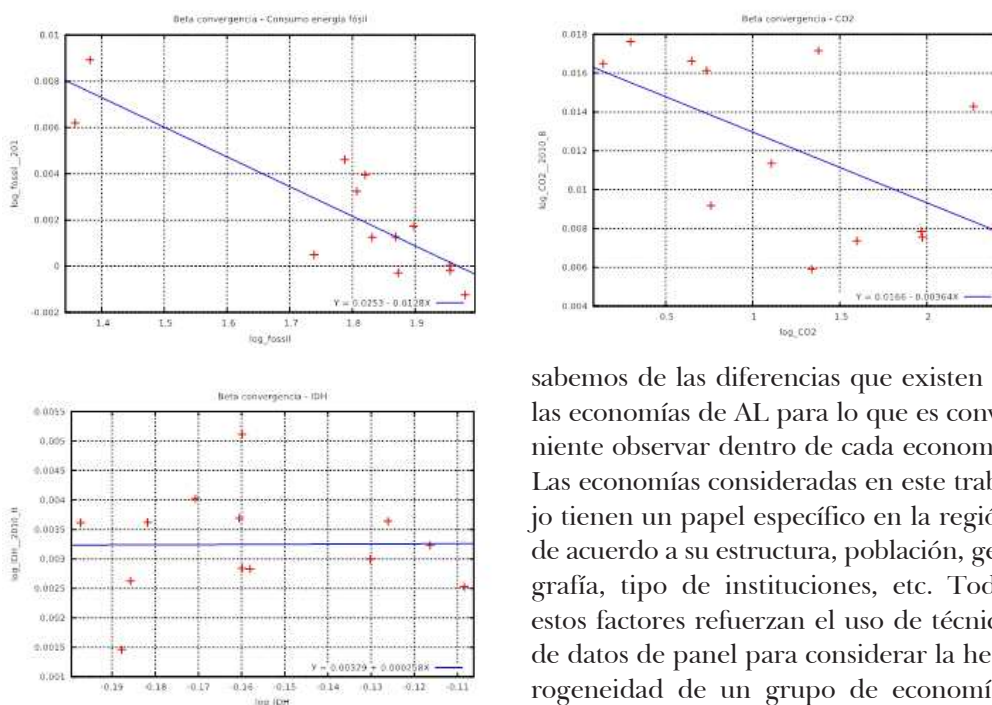


FIGURA 2 (B)
ESTIMACIÓN DE β CONVERGENCIA DE VARIABLES ESTRUCTURALES EN AMÉRICA LATINA



4.1 Análisis de Datos de Panel

Hasta ahora, hemos proporcionado evidencia preliminar del rápido incremento de las emisiones cuanto mayor era su nivel en 1980. También la evidencia indicó que la dinámica del crecimiento no tuvo un papel en la dinámica de la contaminación en AL.

En el modelo de convergencia previo, no tomamos en cuenta la evolución anual de las emisiones de CO_2 en el periodo muestral. Sin embargo, la evolución anual nos podría ayudar a predecir lo que se espera hacia el futuro. Adicionalmente,

sabemos de las diferencias que existen en las economías de AL para lo que es conveniente observar dentro de cada economía. Las economías consideradas en este trabajo tienen un papel específico en la región, de acuerdo a su estructura, población, geografía, tipo de instituciones, etc. Todos estos factores refuerzan el uso de técnicas de datos de panel para considerar la heterogeneidad de un grupo de economías. Especificamos un modelo de datos de panel de efectos fijos⁴, de efectos aleatorios y uno de mínimos cuadrados ponderados.

En el modelo de datos de panel, para obtener los efectos individuales específicos, primero ordenamos los datos tomando como criterio principal el individuo, posteriormente analizamos el siguiente modelo de regresión:

$$Y = \alpha + X_{it}' \beta + U_{it}$$

⁴ La prueba F de homogeneidad sugiere el uso de un modelo en el que el parámetro sea específico a cada economía. La prueba de Hausman no rechaza el uso del modelo de efectos fijos.

Donde α es un escalar, X_{it}' es un vector $1 \times k$ de regresores y β es un vector $k \times 1$ de coeficientes de los regresores, en el modelo de efectos individuales asumimos:

$$U_{it} = \mu_i + V_{it}$$

De esta forma, μ_i es el efecto individual específico y V_{it} es el error puramente no sistemático. Además, μ_i es cualquier efecto que es específico del individuo i , que no está incluido explícitamente en la regresión. Si μ_i es fijo, tendremos efectos individuales específicos fijos, si $\mu_i \ll \text{i.i.d.}(0, \alpha_2)$, tendremos efectos individuales específicos aleatorios homocedásticos y si $\mu_i \ll \text{i.i.d.}(0, \alpha_2)$, tendremos efectos individuales específicos aleatorios heterocedásticos, Baltagi [2005].

Existen algunas criterios, para decidir que tipo efectos debemos utilizar. Si X_i y μ_i están correlacionados, utilizamos efectos fijos y si X_i y μ_i no están correlacionados, utilizamos efectos aleatorios Mundlak [1978]. Por otra parte, con la prueba de Hausman [1978] probamos las siguientes hipótesis:

$$H_0 : E(\mu_i | X_i) = 0$$

$$H_a : E(\mu_i | X_i) \neq 0$$

El estadístico de Hausman se distribuye como χ^2 y se define como:

$$H = (\beta_c - \beta_e)' (V_c - V_e)^{-1} (\beta_c - \beta_e)$$

Donde β_c es el vector de coeficientes

para el estimador consistente, β_e es el vector de coeficientes para estimador eficiente, V_c es la matriz de covarianzas del estimador consistente y V_e es la matriz de covarianzas del estimador eficiente. Cuando el valor p resultante de la prueba de Hausman es menor a 0,05 se rechaza la hipótesis nula y debemos utilizar el estimador de efectos fijos. Por otra parte, cuando el p valor es mayor a 0,05 admitimos la hipótesis nula y utilizamos el estimador más eficiente, que es el de efectos aleatorios.

Los supuestos del modelo de efectos individuales específicos fijos son los siguientes:

1. Los elementos del vector $\mu(N \times 1)$ son parámetros fiables a ser estimados.
2. $V_{it} \ll \text{i.i.d.}(0, \sigma_v^2)$ es un componente no sistemático puro.
3. X_{it} y V_{it} son independientes.
4. X_i y μ_i no necesitan ser independientes. Baltagi .

Para hacer la estimación, utilizamos el método de Mínimos Cuadrados con variables dicotómicas (MCVD). El primer paso es deshacernos de α y μ_i para estimar $\hat{\alpha}$ en nuestro modelo original. Para hacer esto, calculamos los promedios por individuo y volvemos a escribir el modelo:

$$Y_{it} = \alpha + X_{it}\beta + \mu_i + V_{it}$$

Promedios por individuo:

$$Y_i = \alpha + X_i\beta + \mu_i$$

Después, al modelo original, le restamos ecuación de promedios por individuo,

para obtener las desviaciones del promedio por individuo. De esta forma obtenemos:

$$\tilde{Y} = \tilde{X} \beta + \tilde{V}$$

Para estimar β de la ecuación anterior, utilizamos Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO). En forma matricial, β se expresa de la siguiente manera:

$$\tilde{\beta} = (\tilde{X}'\tilde{X})^{-1}\tilde{X}'\tilde{Y}$$

Luego, recuperamos α , calculando el promedio sobre todas las NT observaciones:

$$\tilde{\beta} = \tilde{\alpha} + \tilde{\beta}\tilde{X} + \left(\frac{1}{N}\right) \sum_{i=1}^N \mu_i + \tilde{V}$$

Generalmente, asumimos que

$$\left(\frac{1}{N}\right) \sum_{i=1}^N \mu_i + \tilde{V} = 0$$

por lo tanto, α es equivalente a la forma cómo se obtiene el intercepto en (MCO):

$$\tilde{\alpha} = \tilde{Y} - \tilde{\beta}\tilde{X}$$

Finalmente, recuperamos μ_i , calculando el promedio de las T observaciones para cada individuo:

$$\tilde{Y}_i = \tilde{\alpha} + \tilde{\beta}\tilde{X}_i + \mu_i + \tilde{V}_i$$

Luego, asumimos que $\tilde{V}_i = 0$ y recuperamos los efectos no observables:

$$\mu_i = \tilde{Y}_i - \tilde{\alpha} - \tilde{\beta}\tilde{X}_i$$

Entre las propiedades de los estimadores obtenidos por el método de (MCVD), se encuentran las siguientes:

1. Si $V_{it} \ll i.i.d.(0, \sigma_v^2)$ entonces el estimador obtenido es considerado el mejor estimador lineal insesgado.

2. Para N fijo, cuando $T \rightarrow \infty$, el estimador obtenido es consistente.

3. Para T fijo, cuando $N \rightarrow \infty$, sólo el mejor estimador lineal insesgado es consistente.

Entre los supuestos del modelo de efectos individuales específicos aleatorios se encuentran los siguientes:

1. Si $\mu_i \ll i.i.d.(0, \sigma_\mu^2)$ entonces los errores son homocedásticos, es decir, son distintos pero tienen la misma distribución.

2. μ_i y V_{it} son independientes, en otras palabras, ambos son aleatorios y tienen distinta distribución de probabilidad.

3. X_{it} y V_{it} son independientes, por lo tanto, no hay endogeneidad.

4. X_{it} y μ_i son independientes.

5. $\text{Var}(U_{it}) = \sigma_\mu^2 + \sigma_v^2$

De acuerdo a lo anterior, tomamos como modelo general el siguiente y lo estimamos bajo los modelos anteriores (véase 2):

$$(2) \quad GCO_{2,it} = \alpha_i + \beta \log CO_{2,it-T} + \phi \log PIB_{i,t-T} + \gamma Agricultura_{i,t-T} + \zeta Industria_{i,t-T} + \psi Servicios_{i,t-T} + \phi IDH_{i,t} + v_{i,t}$$

donde GX_{it} es el operador de diferencias para cualquier variable X, por ejemplo

$$GX_{it} = \Delta \log X_{it} = \log X_{it} - \log X_{it-1}$$

Si $|1 + \beta| < 1$, la ecuación de convergencia sugiere que la variables está convergiendo a un pseudo estado estacionario, definido por $\Delta \log X_{it} = 0$, o de manera equivalente,

$$\log X_{it} = \alpha_i / \beta$$

para todo t, el cual puede ser característico de cada economía si las α_i difieren entre países. α_i captura la heterogeneidad inhe-

rente e invariante en el tiempo de las emisiones contaminantes de los países de AL que no está explicada por el crecimiento en el ingreso y el nivel promedio de éste. Cuanto más cercano esté β a 1, más rápido el proceso de convergencia.

Utilizamos el método de MCO para las estimaciones de los modelos de datos de panel. Sin embargo, un comportamiento anómalo de una economía determinada podría sesgar la estimación de los coeficientes comunes. Por ello, también utilizamos el método de estimación de mínimos cuadrados generalizados (GLS por sus siglas en inglés) que pondera los elementos de la sección cruzada (los países). También

TABLA 2
RESULTADOS DE LOS MODELOS DE DATOS DE PANEL

| Variable | Efectos Fijos | Efectos Aleatorios (MCG) | Mínimos Cuadrados Ponderados (WLS) | Modelo Dinámico AR(1) |
|---|-----------------------|--------------------------|------------------------------------|-------------------------|
| Variable dependiente: Cambio en las emisiones de CO_2 | | | | |
| <i>Constante</i> | 0.0163*** (7.517) | 0.0170*** (0.0328) | 0.0153*** (4.989) | -0.00023 (-0.4366) |
| $CO_{2,t-1}\beta$ | -0.1179** (-2.035) | -0.1911*** (-3.929) | -0.1584*** (-3.455) | -0.2006*** (-0.4366) |
| Δ Consumo energía primaria | 0.6523*** (4.906) | 0.6616*** (8.080) | 0.7116*** (8.262) | 0.6434*** (7.271) |
| Δ Consumo energía primaria _{t-1} | 0.3535*** (4.528) | 0.3475*** (3.986) | 0.2725*** (2.947) | 0.3701*** (3.972) |
| Δ Agricultura | -0.0021 (-0.0591) | 0.0017 (0.0328) | 0.0071 (0.1876) | -0.0158 (-0.2877) |
| Δ Industria | 0.2549*** (5.200) | 0.2374*** (3.347) | 0.2892*** (5.428) | 0.2973*** (3.797) |
| Δ Servicios | 0.2520*** (3.400) | 0.2720*** (2.665) | 0.2205*** (2.767) | 0.1805 (1.578) |
| R^2 | 0.3190 | — | 0.3898 | — |

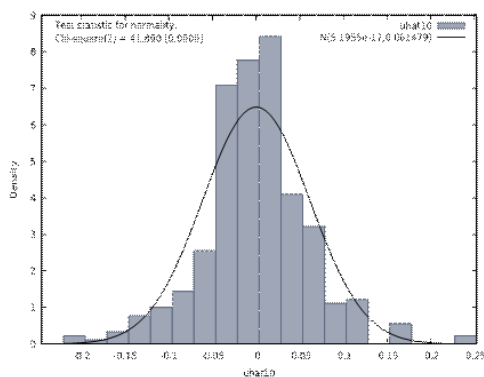
Fuente: Elaboración propia

realizamos la estimación de los modelos de datos de panel por los modelos dinámico (autoregresivo) y el de Mínimos Cuadrados Ponderados (WLS, por sus siglas en inglés).

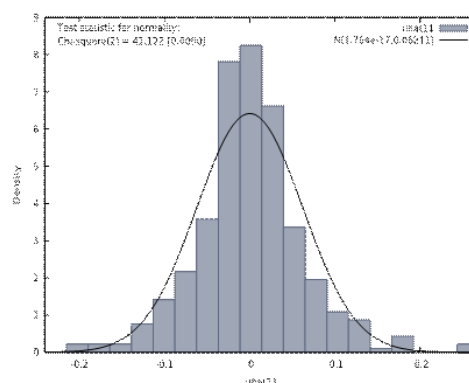
La Tabla 2 muestra los resultados de los modelos. La prueba de Hausman indicó que la los estimadores de GLS no son consistentes, por tanto, el modelo mas ade-

cuado es el efectos fijos, es decir, los estimadores obtenidos son insesgados y consistentes. En realidad, los resultados de todos los modelos son parecidos y llegamos a las mismas conclusiones. Los resultados de las pruebas de normalidad de los residuos indican también que los errores se distribuyen normalmente en los cuatro modelos considerados en este trabajo. Las gráficas de los

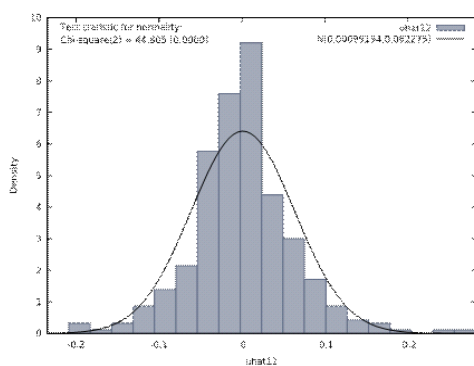
FIGURA 3
NORMALIDAD DE LOS RESIDUOS EN LAS ESTIMACIONES DE MODELOS DE DATOS DE PANEL



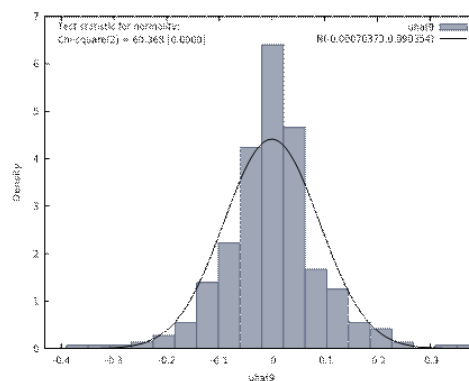
a) Modelo de Efectos Fijos



(b) Modelo de Efectos Aleatorios



(c) Modelo de Mínimos Cuadrados Ponderados (WLS)



(d) Modelo de Dinámico

residuos se presentan en la Figura 3.

La Tabla 2 muestra que la β estimada está en el intervalo $(-1,0)$ para el CO_2 y es estadísticamente distinta de cero al 99% de nivel de significancia. Estos resultados refuerzan la evidencia a favor de aceptar la hipótesis de la β convergencia en los países de AL en términos de emisiones de CO_2 . Los resultados de los modelos de datos de panel también nos indicaron que la actividad de los sectores industrial y de servicios pueden contribuir a explicar el aumento de las emisiones de CO_2 para las trece economías latinoamericanas consideradas en este trabajo.

5. Conclusiones

Los datos de las emisiones de CO_2 revelan que la intensidad de la contaminación, medida por las emisiones de CO_2 se incrementaron en el periodo 1980 – 2010 para trece economías de AL.

El presente artículo tuvo tres objetivos: primero, medir cualitativamente y cuantitativamente la convergencia en emisiones contaminantes, consumo de energía primaria en un grupo de países de AL en el periodo 1980 – 2010. Segundo, analizar si la estructura económica de las economías seleccionadas de América Latina juega un papel importante respecto al incremento en las emisiones de CO_2 para el grupo de países. Finalmente, hacer inferencia acerca de la relación que existe entre consumo de energía primaria, emisiones contaminantes (CO_2) y estructura económica considerando la heterogeneidad en el tiempo y entre países de América Latina mediante

modelos de datos de panel.

Nos enfocamos en ecuaciones de convergencia alternativas aplicadas al grupo de sección cruzada y al total de información disponible para explorar estos temas.

Los resultados que encontramos son: Primero, las emisiones de contaminantes y el consumo de energéticos fósiles se ha incrementado para todas las economías de 1980 al año 2010. Segundo, hay evidencia, cuando se utiliza toda la información disponible, que existe una relación entre estructura económica, consumo de energía y emisiones contaminantes. De hecho, son los sectores industrial y de servicios los que contribuyen positiva y significativamente a las emisiones de CO_2 en América Latina. Tercero, las trece economías de AL consideradas en este trabajo convergen en las emisiones de CO_2 y en el consumo de energéticos fósiles en todo el periodo muestral, es decir, las economías que menos contaminaban y consumían energéticos fósiles se han acercado en el tiempo (2010) a las economías que más lo hacían en 1980 .

REFERENCIAS

- Alvarez, Francisco, Gustavo Marrero y Luis Puch (2005) *Air Pollution and the Macroeconomy across European Countries*. FEDEA WP 2005-10, Fundación de Estudios de Economía Aplicada, Madrid.
- Barro, Robert J. y Xavier Sala-i-Martin (1992). «Convergence». *Journal of Political Economy*, 100(1), The University of Chicago, Chicago, pp. 107 - 182
- Barro, Robert J. y Xavier Sala-i-Martin (2003) *Economic Growth*, 2nd. Edition, The MIT Press, Cambridge.
- Baltagi, B. (2005). *Econometric Analysis of Panel Data*. Third Edition. Ed. Wiley. Great Britain.
- Carbon Dioxide Information Analysis Center (CDIAC). Estadísticas de emisiones de CO₂
- Carter, Anne, P. (1974) «Energy, Environment, and Economic Growth» *The Bell Journal of Economics and Management Science*, Vol. 5, No. 2 (Autumn, 1974), pp. 578-592
- De la Fuente, Angel. (2003). «Convergence Equations and Income Dynamics. The Sources of OECD Convergence, 1970-95», *Economica* New Series 70, 655-671. Blackwell Publishing, London.
- Earnhart, D. (2004) «Panel Data Analysis of Regulatory Factors Shaping Environmental Performance» *The Review of Economics and Statistics*, Vol. 86, No. 1 (Feb., 2004), pp. 391-401
- Energy Information Administration, EIA (2007) *Country Analysis Briefs*. EIA. Washington
- Grossman, Gene M. y Alan B. Krueger (1995). «Economic growth and the environment», *Quarterly Journal of Economics*, 110(2), Oxford University Press, Oxford, pp. 353-377.
- Hausman, J. (1978). «Specification Tests in Econometrics». *Econometrica*, Vol. 46, pp. 1251-1271.
- Holtz-Eakin, Douglas. and Thomas M. Selden (1995). «Stoking the fires? CO2 emissions and economic growth», *Journal of Public Economics*, 57(1), Elsevier, Maryland, pp. 85-101.
- Huber, Richard. M., Jack Ruitenbeek y Ronaldo Serôa da Motta (1998). *Market-based Instruments for Environmental Policymaking in Latin America and the Caribbean. Lessons from Eleven Countries*, World Bank Discussion Paper N. 381 The World Bank, Washington, D.C.
- Kijima, Masaaki, Katsumasa Nishide y Atsuyuki Ohyama (2010), «Economic Models for the Environmental Kuznets Curve: A Survey», *Journal of Economic Dynamics and Control*, vol. 34(7), Elsevier, Maryland, pp. 1187-1201.
- Komen, Marinus H.C., Shelby Gerking y Henk Folmer (1997). «Income and environmental R&D: empirical evidence from OECD countries». *Environment and Development Economics*, 2, Cambridge University Press, Cambridge, pp. 505 - 515.
- Kuznets, Simon (1955) «Economic Growth and Income Inequality» *The American Economic Review* Vol. 45, No. 1 (Mar., 1955), The American Economic Association, Pittsburgh, pp. 1 - 28.
- Leontief, W. (1970) «Environmental Repercussions and the Economic Structure: An Input-Output Approach» *The Review of Economics and Statistics*, Vol. 52, No. 3 (Aug., 1970), pp. 262-271
- Mundlak, Y. (1978). «On The Pooling of Time Series and Cross Section Data». *Econometrica*, Vol. 46, pp. 69-85.
- Panayotou, Theodore (2000). *Economic growth and the environment*, Center for International Development (CID) Working Paper No. 56, Environment and Development Paper No. 4. Harvard University, Harvard.
- Roca, Jordi. y Vicent Alcantara (2001)

- «Energy intensity, CO_2 emissions and the environmental Kuznets curve. The Spanish case», *Energy Policy*, Volume 29, Issue 7, June, Elsevier, Maryland, pp. 553 - 556.
- Roca, Jordi. (2003) «Do individual preferences explain the Environmental Kuznets curve?» *Ecological Economics*, Volume 45 (1), Elsevier, Maryland, pp. 3 - 10.
- Sala-i-Martin, Xavier (1994). «Cross sectional regressions and the empirics of economic growth», *European Economic Review*, 38(3-4), Elsevier, Maryland, pp. 739 - 747.
- Sala-i-Martin, Xavier (1996). «The Classical Approach to Convergence Analysis», *The Economic Journal* 106(437), Blackwell Publishers, Oxford, UK y Cambridge, MA, pp. 1019 - 1036.
- Selden Thomas M. y Daqing Song (1994). «Environmental quality and development: Is there a Kuznets curve for air pollution emissions?», *Journal of Environmental Economics and Management* 27, Elsevier, Maryland, pp. 147-162.
- Shafik, Nemat (1994). «Economic development and environmental quality: an econometric analysis». *Oxford Economic Papers*, New Series, Vol. 46, Oct. Oxford University Press, Oxford,, pp. 757-773.
- Shafik, Nemat y Sushenjit Bandyopadhyay (1992). «Economic growth and environmental quality: Time series and cross-section evidence». *Policy Research Working Paper* No. WPS904, the World Bank, Washington, DC.
- Smith, V. Kerry and J. F. Krutilla (1979) «Resource and Environmental Constraints to Growth». *American Journal of Agricultural Economics*, Vol. 61, No. 3 (Aug., 1979), pp. 395-408
- Stavins Robert .N. (2003). *Experience with market-based environmental policy instruments*, Handbook of Environmental Economics Vol. 1. Karl-Göran Mäler y Jeffrey R. Vincent (eds).. North Holland, Elsevier, Amsterdam.