

EL ROL DE LA POLÍTICA ENERGÉTICA EN LAS EMISIONES POR GENERACIÓN ELÉCTRICA DE AMÉRICA LATINA

Mariana Zilio ¹

ÍNDICE

1. Introducción	110
2. Los datos	112
3. Análisis descriptivo	114
3.1. Análisis de dispersión	114
3.2. Análisis no paramétrico	117
4. La composición de la matriz energética y el sendero de emisiones	119
5. Consideraciones finales.....	124
Referencias	125
ANEXOS	127

RESUMEN

En el marco del debate sobre la relación entre el producto y las emisiones de gases de efecto invernadero, este trabajo tiene por objetivo analizar el vínculo entre las emisiones de CO₂ por generación eléctrica y el PBI per capita, para nueve de los países de mayor desarrollo relativo de América Latina. A partir de los resultados del análisis descriptivo propuesto, es posible concluir que serían las decisiones de política energética, y no el producto, las que definen el sendero de emisiones por generación eléctrica en los países bajo estudio, cuestionando así la incorporación de emisiones provenientes de esta fuente en la contrastación de la hipótesis de la Curva de Kuznets de Carbono.

PALABRAS CLAVE: EMISIONES DE CARBONO, GENERACIÓN ELÉCTRICA, CAMBIO CLIMÁTICO, CURVA DE KUZNETS.

1 Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Universidad Nacional del Sur (UNS), Instituto de Investigaciones Económicas y Sociales del Sur (IIESS), Argentina. Correo electrónico: mzilio@uns.edu.ar

ABSTRACT

In the frame of the debate on the relationship between GDP and greenhouse gases emissions, the objective of this paper is to analyze the link between carbon dioxide emissions from electricity generation and per capita GDP for a sample of the nine most developed Latin American countries. From the results of this analysis it is possible to conclude that, in the case of these countries, energy policy decisions may be more powerful than per capita GDP to define emissions from electricity generation. Therefore, the use of these emissions in the validation of the Carbon Kuznets Curve hypothesis could be questioned.

KEYWORDS: CARBON EMISSIONS, POWER GENERATION, CLIMATE CHANGE, KUZNETS CURVE

1. INTRODUCCIÓN

El estudio de la relación entre las emisiones de dióxido de carbono (CO_2) y el producto ha concentrado la atención de gran parte de la economía ambiental empírica en los últimos treinta años. El reconocimiento de que el fenómeno del cambio climático existe, y de que hay evidencia cierta de que la temperatura media de la tierra se está elevando gradualmente por encima de los niveles habituales con marcados efectos económicos y ambientales (IPCC, 2007), ha acentuado aun más el interés en establecer sus determinantes.

En este contexto, cobra especial relevancia el análisis de la relación entre el producto y las emisiones de CO_2 , motivada principalmente por tres factores. En primer término, el CO_2 es uno de los principales gases de efecto invernadero (GEI) responsables del fenómeno del cambio climático. En efecto, el Protocolo de Kyoto (UNFCCC, 1997) establece metas de reducción de emisiones para seis GEI, entre los cuales pueden distinguirse aquellos plausibles de ser hallados de manera originaria en la naturaleza (CO_2 , metano (CH_4) y óxido nitroso (N_2O)) y aquellos puramente antropogénicos (hidrofluorocarburos, perfluorocarburos y hexafluoruro de azufre), con un poder de calentamiento global mucho mayor que los del grupo anterior, pero derivados únicamente de procesos industriales y químicos específicos.

En segundo lugar, existe una elevada correlación entre el crecimiento en las emisiones de CO_2 , su concentración atmosférica y los

cambios en la temperatura de la tierra (IPCC, 2007), lo que convierte a este gas en uno de los principales responsables del fenómeno del cambio climático a nivel global.

Por último, las emisiones de CO_2 son plausibles de ser reducidas tanto a gran escala (a través de la transformación de las matrices energéticas de carbono intensivas a esquemas con mayor participación de energías renovables), como a muy pequeña escala. En efecto, los cambios en el uso de la tierra, la adaptación de las técnicas de producción y las formas básicas de generación de calor, el ajuste de los sistemas de transporte, e incluso la concientización sobre la problemática ambiental, pueden contribuir ostensiblemente a la disminución de las emisiones de CO_2 a pequeña escala.

En este contexto, se han multiplicado los estudios que aplican una amplia variedad de enfoques y técnicas econométricas al análisis de la relación entre emisiones de carbono y producto, en su mayoría relacionadas con la hipótesis de la Curva de Kuznets Ambiental definida a partir de los trabajos de Grossman y Krueger (1991, 1995), Shafik and Bandopadhyay (1992) y Panayotou (1993). En el caso puntual del CO_2 , dicha hipótesis –renombrada Curva de Kuznets de Carbono (CKC)- sostiene que la relación entre emisiones y producto sigue en el largo plazo un patrón en forma de U invertida, de modo tal que la relación entre ambas variables es positiva hasta un nivel de ingreso o *turning point* a partir del cual aumentos en el producto se asocian con niveles de contaminación progresivamente menores.

De la aceptación de esta hipótesis puede inferirse que la mejor, y probablemente la única vía para mejorar las condiciones ambientales es el crecimiento económico (Beckerman, 1992), volviéndose irrelevante la implementación de política ambiental. Para los países en desarrollo, esta recomendación tiene fuertes implicancias, ya que una situación de trampa de pobreza generaría automática y paralelamente una trampa ambiental (Zilio, 2007). En este sentido, el análisis de la validez de la CKC en las economías en desarrollo cobra especial relevancia, fundamentalmente en atención a su elevada vulnerabilidad ante los avances de los efectos del cambio climático (Zilio, 2011).

En términos empíricos, la hipótesis de la CKC ha sido sometida a numerosos enfoques y múltiples especificaciones, llegando a resultados no sólo no coincidentes, sino en muchos casos notoriamente disímiles acerca de la relación entre ambas variables². En concordancia con lo expuesto por Wagner (2008) en su análisis temporal y Harbaugh, Levinson y Wilson (2000) para otros contaminantes, la relación hallada entre CO₂ y producto es marcadamente sensible no sólo a variaciones en los datos sino también a permutaciones razonables en la especificación econométrica.

En el caso particular de los países en desarrollo, la evidencia empírica no es muy extensa, principalmente en atención a los problemas de disponibilidad de datos. No obstante esto, los resultados reportados para este tipo de economías son también mixtos (Bhattarai y Hammig, 2001; Bulte y Van Soest, 2001; Martínez-Zarzoso y Bengochea-Morancho, 2003; Song, Zheng and Tong, 2008; Narayan y Narayan, 2009; Poudel, Paudel y Bhattarai, 2009), indicando que la desigualdad en la distribución del ingreso, la debilidad institucional y los problemas de *enforcement* podrían ser determinantes cruciales del sendero de emisiones en este tipo de economías (Pargal y Wheeler, 1996; Bimonte, 2002; Dasgupta et al, 2002; Dinda, 2004).

2 Para una revisión exhaustiva de los estudios empíricos sobre la relación entre carbono y producto planteada en la Curva de Kuznets de Carbono véase Zilio (2011).

Sin embargo, existe otro factor que podría contribuir a explicar tal variedad de resultados en la contrastación empírica de la CKC. En efecto, el origen de las emisiones de CO₂ contabilizadas en las series bajo estudio no ha sido objeto de análisis en este contexto, y resulta fundamental al momento de analizar la validez de la hipótesis en aquellos países menos avanzados. La razón primordial de esto es el hecho de que en atención al grado de desarrollo alcanzado y ciertos factores estructurales –e incluso institucionales-, las economías tendrán una diferente participación de cada una de las posibles fuentes emisoras.

De este modo, economías con un mayor grado de desarrollo –que presentan asimismo una mayor tasa de electrificación- exhibirán mayores emisiones provenientes del sector de generación de energía y la industria, mientras que en economías más atrasadas, basadas mayormente en la agricultura y con amplia dotación de recursos naturales, serán más significativas las emisiones derivadas de cambios en el uso de la tierra³. Asimismo, dado que las emisiones derivadas de la generación de energía eléctrica dependen directamente de la composición de la matriz energética, se espera que economías con un mayor grado de desarrollo ostenten menor dependencia de combustibles fósiles y cierta participación de energías renovables o tecnologías menos intensivas en carbono –en el marco de un proceso de sustitución entre combustibles fósiles de menor calidad ambiental a combustibles de mayor calidad-.

Por otra parte, y dado que sólo una pequeña porción de la literatura empírica sobre CKC ha verificado la existencia de una relación estable de largo plazo entre las series de emisiones de carbono y producto para algunos países y regiones en particular (Perman y Stern, 2003; Richmond y Kaufman, 2006; Dinda y Coondoo, 2006; Galeotti, Manera y Lanza, 2009), es altamente probable que el sendero de emisiones se encuentre claramente influenciado

3 En el caso del transporte la relación no es unívoca, dado que en economías más avanzadas sin duda contribuye en mayor medida al total de emisiones de CO₂, pero alcanzado determinado nivel de desarrollo, las mejoras en eficiencia y la renovación del parque automotor pueden generar disminuciones en las emisiones del sector.

por otros factores ajenos al producto. En este sentido, Panayotou (1997), Torras y Boyce (1998), Suri y Chapman (1998), Agras y Chapman (1999), Bhattarai y Hammig (2001) y Bimonte (2002), entre otros, han avanzado en la incorporación de regresores adicionales con el objetivo de hallar estimaciones más robustas sobre la relación entre degradación ambiental y producto. Este enriquecimiento de los modelos de CKC no sólo reduce el sesgo de especificación, sino que permite incorporar diferencias estructurales –sociales, políticas e institucionales– que pueden afectar en forma directa o indirecta la relación entre emisiones contaminantes y producto a través de su efecto sobre la demanda de calidad ambiental, principalmente en las economías en desarrollo (Dinda, 2004).

En este contexto, resulta de particular interés analizar la existencia de una relación entre el producto y las emisiones provenientes de la generación de energía eléctrica, con dos objetivos complementarios pero claramente diferenciables. Por un lado, determinar si las emisiones de CO₂ generadas en la producción de energía eléctrica guardan vinculación con el nivel de producto de una economía; y por otro lado, determinar si la participación de fuentes renovables en la generación de energía eléctrica, generalmente asociada al grado de desarrollo de un país, incide positivamente sobre la calidad ambiental vía reducción de las emisiones por generación.

Planteado así el objetivo, la estructura propuesta es la siguiente.

En la segunda sección se presentan los datos y una breve descripción de la muestra seleccionada, compuesta por nueve de los países de mayor desarrollo relativo de la región de América Latina para el período 1970-2008. En la tercera sección se lleva adelante un análisis descriptivo exhaustivo sobre la relación entre de emisiones de CO₂ provenientes de la generación eléctrica y producto en cada uno de los países de la muestra. La cuarta sección analiza la conexión entre el balance energético de cada uno de los países de la muestra y su sendero de emisiones, y en función de los resultados obtenidos, se concluye acerca de la importancia de distinguir la fuente de emisiones en los estudios sobre CKC y del rol de la política energética como potencial determinante de dicho sendero en los países bajo estudio. Asimismo, se

bosquejan algunas posibles líneas de investigación que quedan pendientes para ulteriores investigaciones sobre los determinantes de la evolución de las emisiones de CO₂, con el fin de contribuir al diseño de política ambiental relativa al cambio climático en la región.

2. LOS DATOS

El análisis propuesto para determinar la relación entre emisiones de CO₂ provenientes de la generación eléctrica y el producto en la muestra seleccionada se lleva adelante utilizando la información sobre emisiones provista por OLADE (Organización Latinoamericana de Energía) en el módulo del área de Impacto Ambiental del Sistema de Información Económico Energética (SIEE). La primera de las series computa toneladas de CO₂ emitidas por Giga Watt por hora (GWh), mientras que en el caso del producto la serie empleada es la de PBI por habitante en dólares constantes de 1990 (OLADE), de manera tal de incorporar consideraciones demográficas al análisis⁴. La información sobre composición de la matriz energética de cada uno de los países incluidos en el análisis proviene de los balances energéticos publicados por OLADE – SIEE.

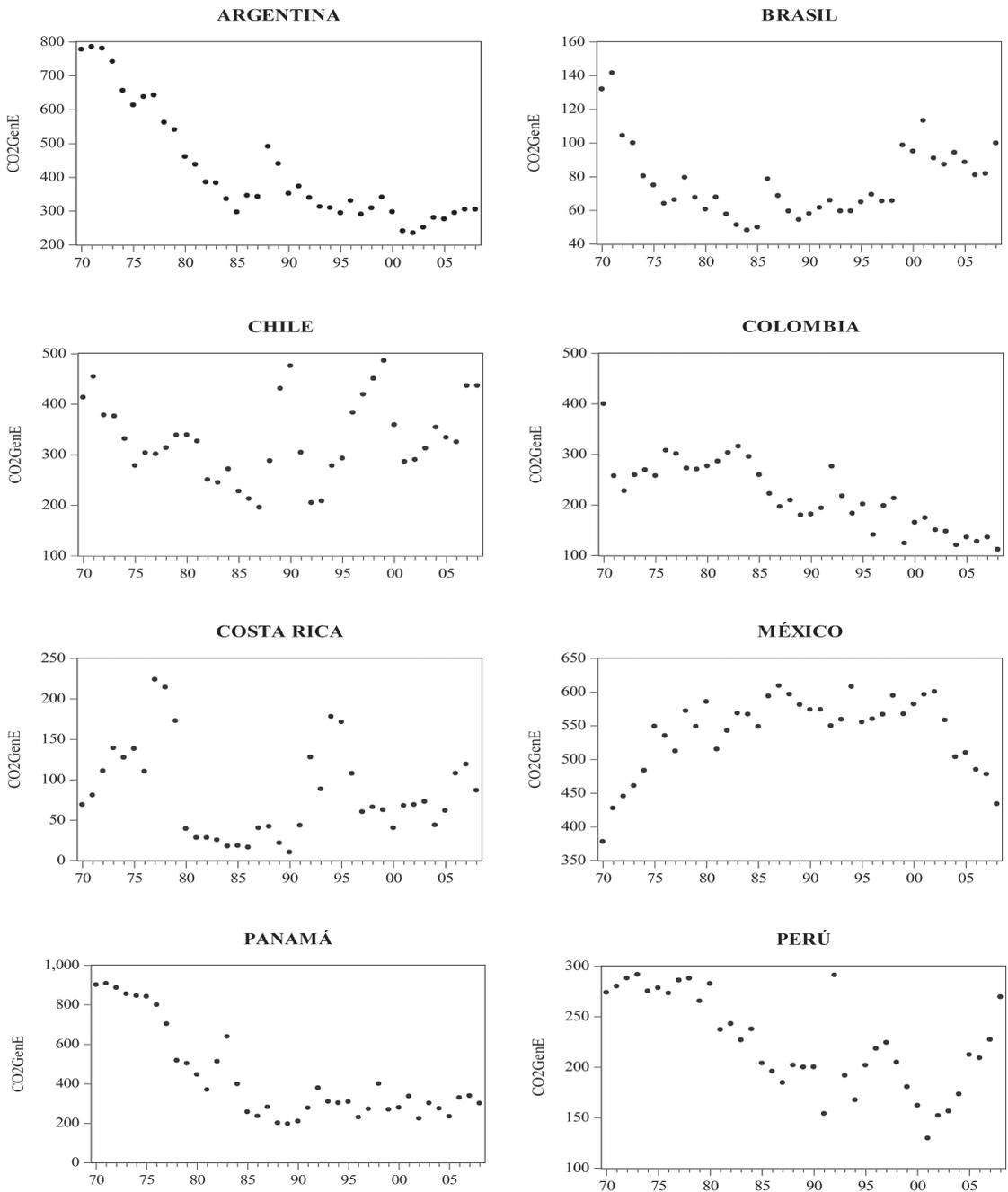
Dado que el fenómeno enunciado en la CKC plantea la reversión de la pendiente de la relación entre contaminación atmosférica y producto debido principalmente a la aparición de ciertos factores que sólo operan a partir de determinado nivel de desarrollo, la muestra está conformada sólo por nueve de los países de América Latina que exhiben el mayor grado de desarrollo relativo según el Índice de Desarrollo Humano (IDH) del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD, 2010)⁵.

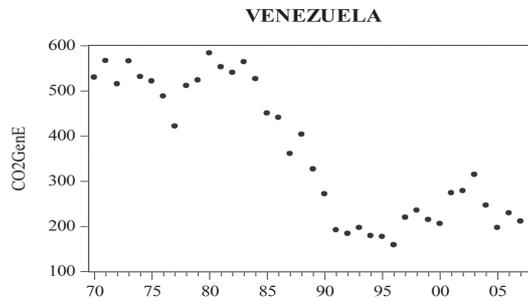
La Figura 1 presenta el diagrama de dispersión de las emisiones de CO₂ por generación eléctrica durante el período muestral. De

⁴ En materia ambiental, el uso de los indicadores en términos per capita permite tener en cuenta el daño ambiental relativo y no el impacto absoluto que sobre la calidad del medio ambiente ejerce la actividad económica

⁵ Argentina, Brasil, Colombia, Costa Rica, Chile, México, Panamá, Perú y Venezuela.

FIGURA 1
EVOLUCIÓN DE LAS EMISIONES DE CO₂ POR GENERACIÓN ELÉCTRICA* 1970-2008





Fuente: Elaboración propia en base a datos de OLADE-SIEE.
*En Giga Watt por hora (GWh).

una primera inspección gráfica puede deducirse una tendencia decreciente en los casos de Argentina, Colombia y Panamá, un patrón aproximadamente en forma de U en los casos de Brasil y Perú, y en forma de U invertida en el caso de México, un patrón que ajustaría a una relación polinómica de grado tres o superior en el caso de Venezuela, y ninguna tendencia distinguible en los casos de Costa Rica y Chile, que presentan un elevado grado de dispersión.

En relación a la magnitud de las emisiones, el rango de la muestra va de 10.14 GWh (Costa Rica, 1990) a 907,08 GWh (Panamá, 1971), distinguiéndose las bajas emisiones de Brasil y Costa Rica a largo de todo el período muestral, en comparación con el resto de los países de la muestra.

En relación al producto, y si bien las nueve economías bajo estudio son clasificadas como de Ingresos Medios Altos según el método Atlas del Banco Mundial (World Bank Atlas Method, 2010), el rango de PBI per capita considerado es amplio, yendo de los US\$ 961,93 (Colombia, 1979) a los US\$ 9904,38 (Argentina, 2008).

La tabla 1 del Anexo presenta la estadística descriptiva para las series de emisiones de CO₂ por generación eléctrica y PBI per capita para cada uno de los países de la muestra.

3. ANÁLISIS DESCRIPTIVO

Con el objetivo de indagar sobre la existencia de una relación entre las emisiones de CO₂ por generación eléctrica y el PBI per capita en los países bajo estudio, este apartado avanza

en la aplicación de herramientas simples de análisis estadístico y econométrico.

La ausencia de relación entre ambas series podría explicar por qué las estimaciones tendientes a verificar la validez de la CKC en economías en desarrollo (particularmente, en los países de América Latina) no arrojan resultados concluyentes y son extremadamente sensibles al período considerado, la composición de la muestra, y fundamentalmente la especificación econométrica. En efecto, es posible que en este tipo de economías, emisiones provenientes de otras fuentes se encuentren estrechamente vinculadas a la actividad económica, pero las provenientes del sector eléctrico dependan crucialmente de otros factores, en particular, de las decisiones de política energética.

En este contexto, el análisis descriptivo propuesto incluye el análisis básico de dispersión de las series de emisiones de CO₂ por generación eléctrica y producto en su conjunto y la aplicación del enfoque no paramétrico basado en estimaciones kernel, con el objetivo de arrojar luz sobre la verdadera relación que vincula este tipo de contaminación con la actividad económica.

3.1. Análisis de dispersión

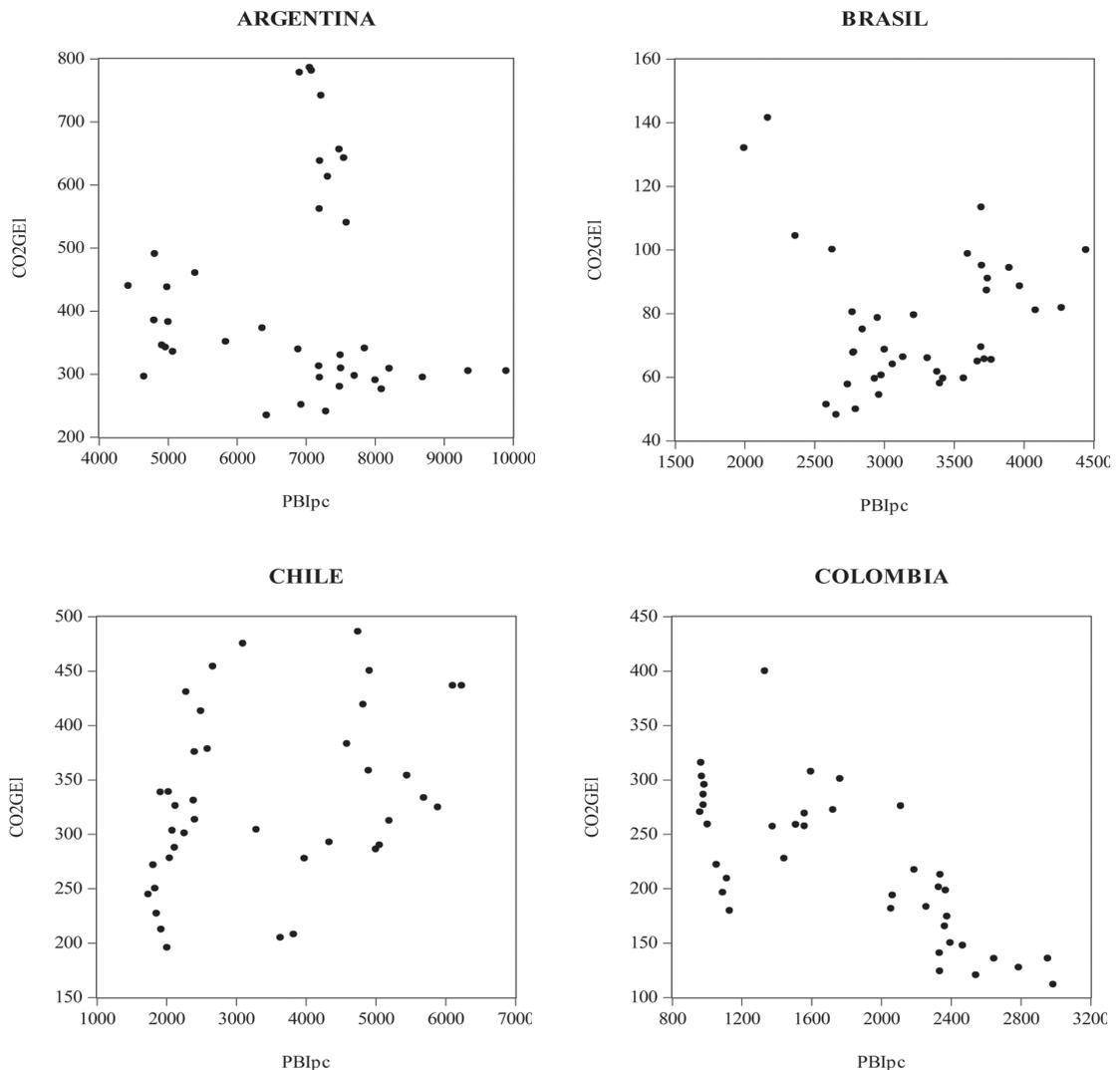
La Figura 2 que se presenta a continuación contiene los diagramas de dispersión entre el PBI per capita y las emisiones de CO₂ por generación eléctrica durante el período 1970-2008 para los nueve países latinoamericanos bajo estudio. No obstante tratarse de una herramienta en extremo sencilla, la sola observación

de estos gráficos cuestiona sin duda la vinculación entre ambas series, toda vez que la dispersión observada es tan elevada que la precisión de cualquier estimación carece de sustento econométrico fuerte.

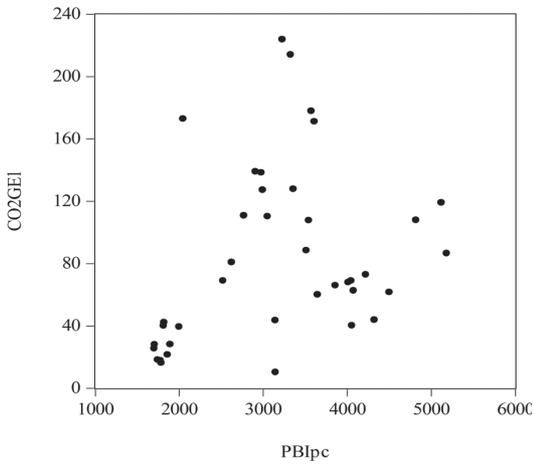
Esto es particularmente cierto en los casos de Argentina, Costa Rica, Chile y Venezuela, en los que no es posible discernir por simple inspección gráfica ninguna relación entre las

series. Por otra parte, sólo Colombia y Panamá exhiben una relación con tendencia decreciente (aunque en el primero de los casos la dispersión es asimismo muy elevada), en México la relación entre ambas series podría ajustarse a un polinomio cúbico y en Brasil y Perú la tendencia evidenciada entre emisiones por generación eléctrica y PBI per capita es creciente, aunque muy dispersa en el caso de Perú.

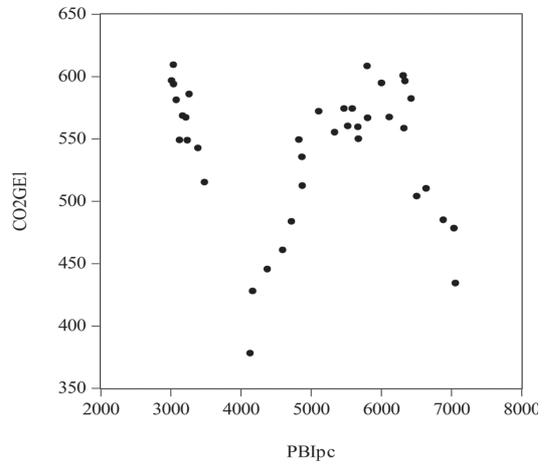
FIGURA 2
DIAGRAMAS DE DISPERSIÓN CO₂ POR GENERACIÓN/PRODUCTO 1970-2008



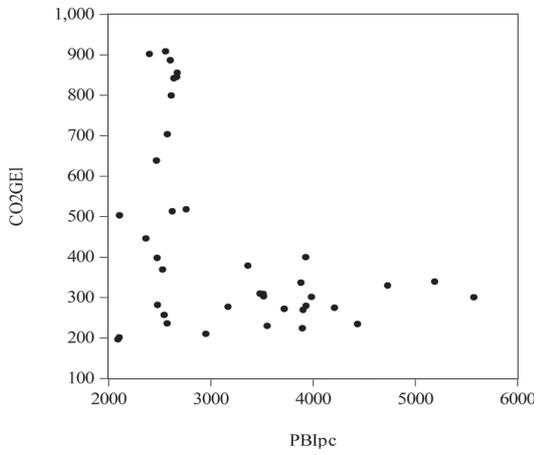
COSTA RICA



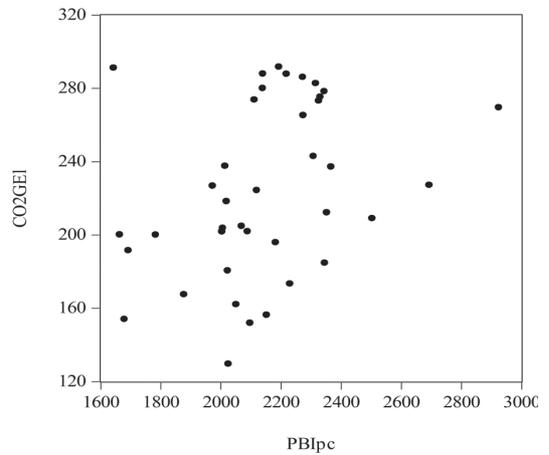
MÉXICO



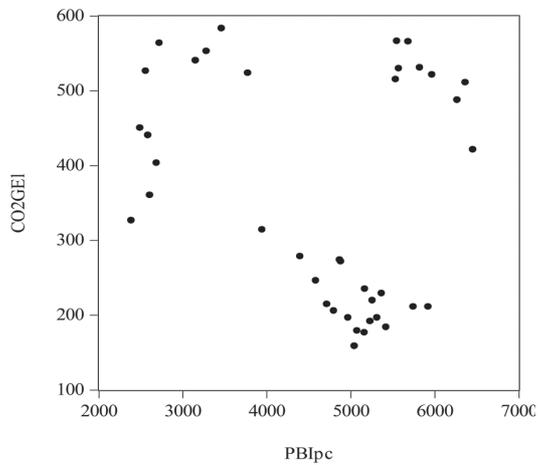
PANAMÁ



PERÚ



VENEZUELA



Fuente: Elaboración propia en base a datos de OLADE-SIEE.

3.2. Análisis no paramétrico

Con el objetivo de computar la estimación del polinomio suavizado para describir la relación funcional entre las emisiones de CO₂ por generación eléctrica y el PBI per capita en los países de la muestra, y siguiendo la metodología que Taskin y Zaim (2000) emplean para testear la validez de la CKA para un índice de eficiencia ambiental, se adopta el estimador de regresión kernel de Nadaraya-Watson, fácilmente aplicable y de uso ampliamente extendido en la literatura empírica. En todos los casos, se seleccionó la serie de emisiones como variable dependiente y la serie de producto como explicativa.

Por otra parte, y dado que la elección de la función kernel no altera cualitativamente los resultados de las estimaciones, se emplea Epanechnikov por estar probada su superioridad en términos de eficiencia relativa y ofrecer además la ventaja de ser robusta ante la presencia de *outliers*. Asimismo, a los efectos de analizar la sensibilidad de la estimación a las variaciones del parámetro de suavización (*bandwidth*) empleado, h , se presentan los resultados para las estimaciones correspondientes a $0.5h$, h y $1.5h$ ⁶.

En términos generales, la ventaja más importante de la utilización de técnicas no paramétricas para examinar la relación entre dos o más variables de la manera más precisa posible, es la posibilidad de prescindir de una elección a priori de la forma funcional estimada, evitando así el mecanismo de prueba y error que prima –y condiciona los resultados– en los análisis paramétricos (Taskim y Zaim, 2000). No obstante esto, estas técnicas enfrentan asimismo otros cuestionamientos, principalmente en relación a su imprecisión

al momento de realizar estimaciones que involucran gran número de regresores y a la dificultad en la interpretación de sus resultados. No obstante esto, y dado que este trabajo propone la aplicación del enfoque entre dos variables, se avanzó en la estimación de los polinomios suavizados para los países que componen la muestra. La Figura 3 presenta las estimaciones kernel correspondientes a cada uno de ellos.

Los resultados indican que sólo en el caso de Colombia es posible delinear una relación con tendencia decreciente suavizada entre ambas series, aunque la misma se muestra notablemente sensible a cambios en el parámetro de suavización.

En el caso de Panamá, la tendencia decreciente parece ser el resultado de un cambio de estructura importante operado a partir de los US\$ 3000 de PBI per capita. Lo mismo sucede en el caso de Brasil, donde a excepción de las emisiones registradas a niveles de PBI per capita inferiores a los US\$ 2500, el resto de las observaciones exhiben un comportamiento creciente en relación al producto.

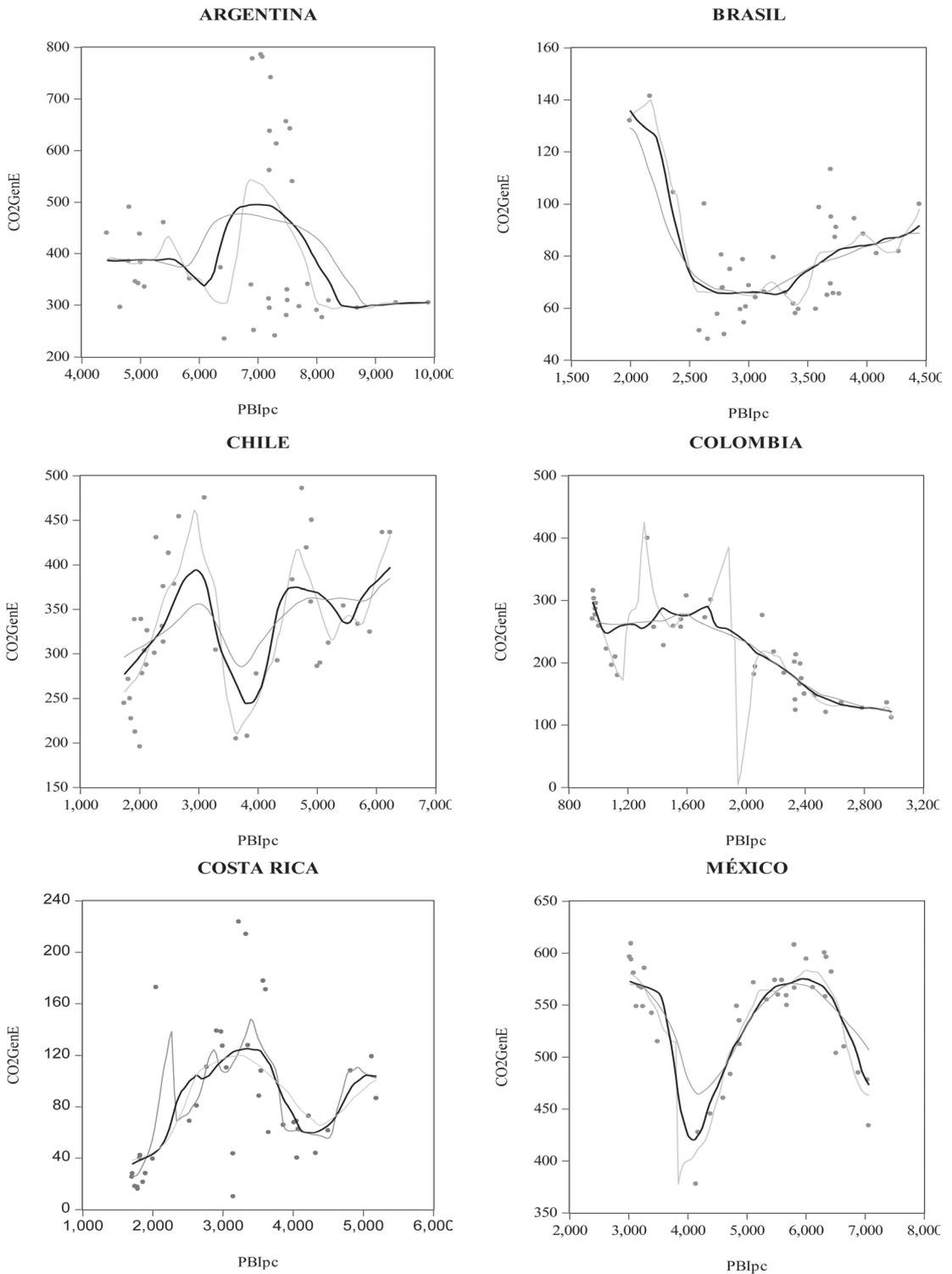
La dispersión disminuye ostensiblemente la precisión de la estimación kernel en el caso de Perú, y sólo en el caso de México la relación entre emisiones por generación eléctrica es muy similar a la trayectoria que siguen las emisiones per capita sin discriminar por fuente⁷.

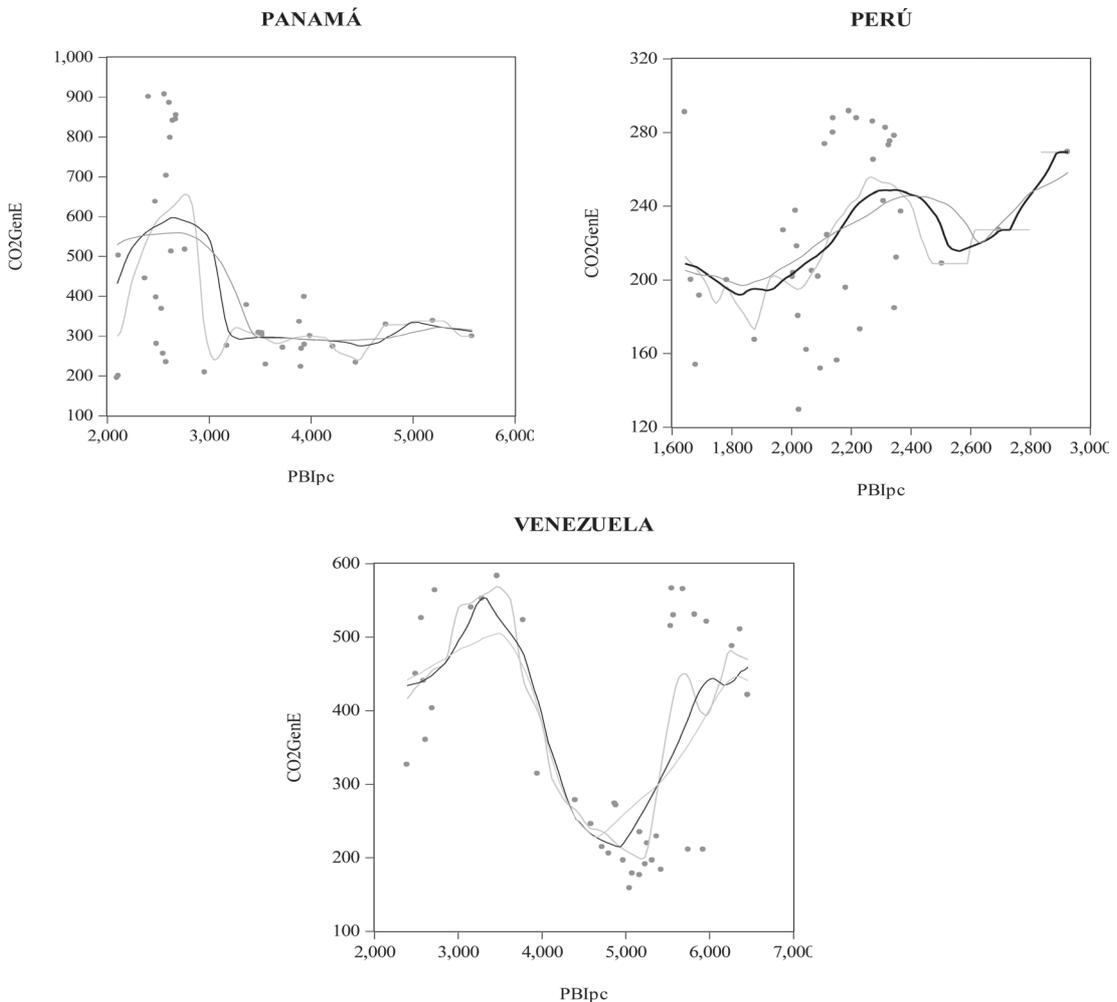
En los restantes casos, el sendero de emisiones de CO₂ por generación eléctrica no guarda con el producto una relación similar a la de las emisiones globales, por lo que su inclusión en la contrastación empírica de la CKC puede conducir a resultados erróneos si no se controla por otros factores que definitivamente lo afectan.

6 Si bien la elección de h resulta crucial para los resultados de las estimaciones kernel –ya que un parámetro de suavización demasiado pequeño aumenta notablemente la varianza y uno demasiado grande suaviza en demasía los datos, perdiendo información y aumentando el sesgo–, la elevada dispersión de los datos bajo estudio hacen que en este caso la estimación del bandwidth óptimo (por validación cruzada, minimización de ECM u otros métodos reconocidos) pierda significatividad.

7 Las estimaciones kernel de las relaciones entre emisiones de CO₂ per capita (provenientes de todas las fuentes) y el PBI per capita reportadas por Zilio (2011) para los nueve países de la muestra se presentan como información complementaria en la Figura 1 del Anexo.

FIGURA 3
ESTIMACIONES KERNEL CO₂ POR GENERACIÓN/PRODUCTO 1970-2008





Fuente: Elaboración propia en base a datos de OLADE-SIEE.

4. LA COMPOSICIÓN DE LA MATRIZ ENERGÉTICA Y EL SENDERO DE EMISIONES

Habiendo hallado escasa evidencia de la existencia de un vínculo entre las series de emisiones de CO₂ por generación eléctrica y el producto a partir de un análisis estadístico y econométrico básico, resulta evidente que el sendero de emisiones del sector está asimismo determinado por otros factores que guían las decisiones en materia energética, y no necesariamente por la evolución de la actividad económica.

Intuitivamente, la composición del rubro generación de electricidad en el balance

energético debería ser un claro determinante de dicho sendero, toda vez que la decisión de generar electricidad con diferentes fuentes y/o tecnologías lleva implícita una decisión sobre el nivel de CO₂ a emitir. En este contexto, es claro que matrices eléctricas más intensivas en combustibles fósiles resultarán mayores emisoras de CO₂ que matrices con mayor predominio de fuentes renovables o tecnologías menos intensivas en carbono.

Este apartado presenta la evolución del rubro generación de electricidad en los balances energéticos de cada uno de los países de la muestra, y su correlato con el sendero de emisiones por generación descrito en el apartado

2. El análisis se basa en información provista por OLADE-SIEE. La Figura 4 exhibe la evolución de la participación de cada fuente en la matriz de generación eléctrica de cada uno de los países de la muestra, en forma conjunta con el correspondiente sendero de emisiones por generación eléctrica. (La Figura 2 del Anexo presenta la evolución de los componentes de la matriz de generación eléctrica a lo largo del periodo muestral). En todos los casos, bajo la categoría *térmicas* se incluyen petróleo, gas natural, carbón mineral, gas licuado, gasolinas/alcohol, kerosene y turbo, diesel oil, fuel oil, coques y carbón vegetal.

Los resultados indican claramente que las series de emisiones por generación eléctrica y la participación de hidrocarburos se encuentran vinculadas positivamente, mientras que dichas emisiones se relacionan negativamente con la participación de energías renovables en la matriz eléctrica, fundamentalmente de hidro⁸.

Si bien el análisis detallado de los cambios en la composición en cada uno de los países requiere un conocimiento acabado de cada mercado eléctrico, y por ende escapa al objetivo de este trabajo, resulta a todas luces evidente que el sendero de emisiones de CO₂ por generación puede ser asociado de modo automático a los cambios en la política energética que representaron la adopción de tecnologías menos intensivas en carbono (implicando un proceso de sustitución de combustibles menos eficientes hacia otros de mayor eficiencia o cambios de tecnología dentro de la generación térmica⁹) o bien avanzando en la generación por fuentes renovables (fundamentalmente la generación hidroeléctrica a mayor escala y la instalación de nuevas centrales geotérmicas).

En el contexto del análisis de validez de la CKC, esto implica que computar la totalidad de las emisiones de CO₂ en forma conjunta puede conducir a conclusiones erróneas, toda vez que no todas las fuentes de emisión incluidas guardan necesariamente una relación con el producto.

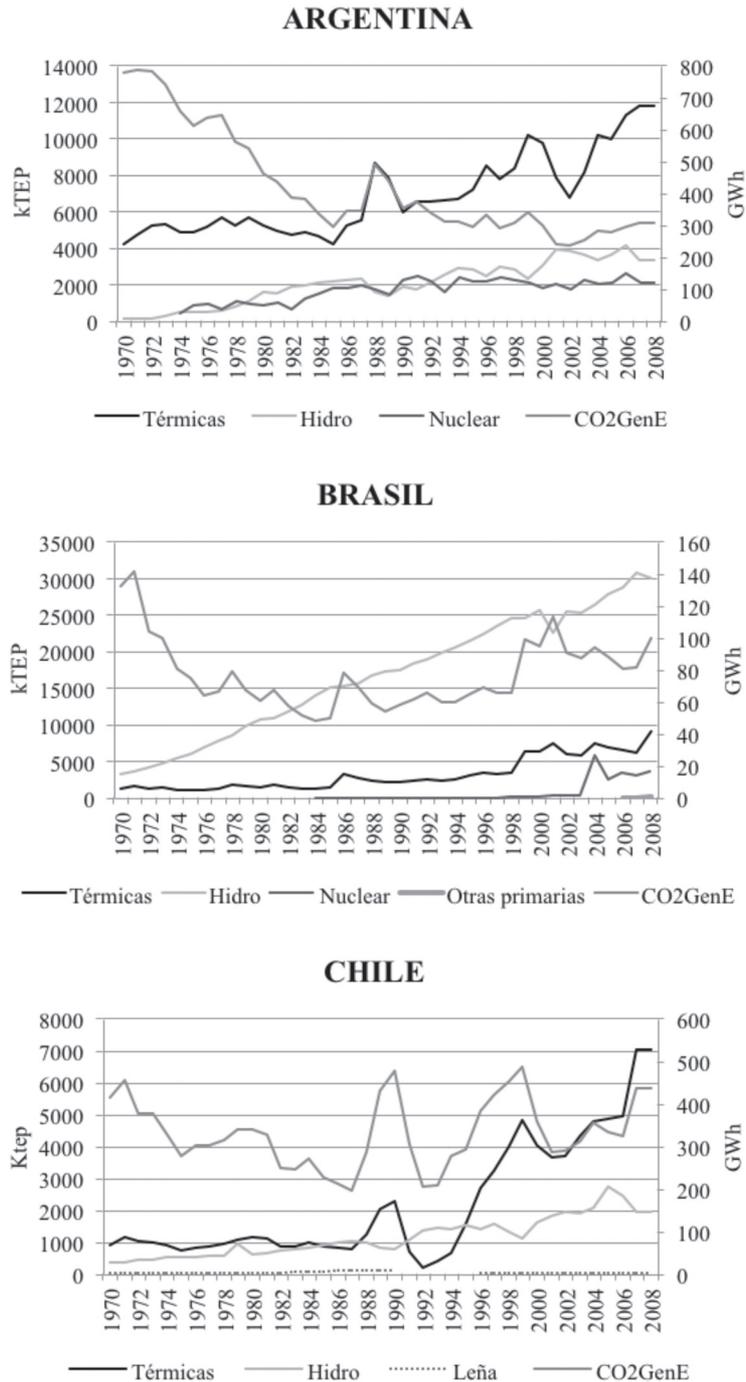
En otros términos, mientras que las emisiones de CO₂ provenientes del sector transporte y la industria se encuentran estrechamente asociadas al nivel de desarrollo alcanzado por una economía, y por ende tienen mayor probabilidad de contribuir a la verificación de los efectos escala, composición y tecnología necesarios para verificar la hipótesis de la CKC en términos de Grossman y Krueger (1991), las emisiones de CO₂ por generación eléctrica no guardan un patrón distinguible con el producto, y por ende no debería esperarse que disminuyan per ser alcanzado determinado nivel de producto (o *turning point*)¹⁰. Por el contrario, puede observarse que el sendero de este tipo de emisiones se relaciona estrechamente con la composición de la matriz de generación eléctrica, que depende casi exclusivamente de decisiones de política energética.

8 El análisis de correlación correspondiente se encuentra a disposición bajo requerimiento al autor.

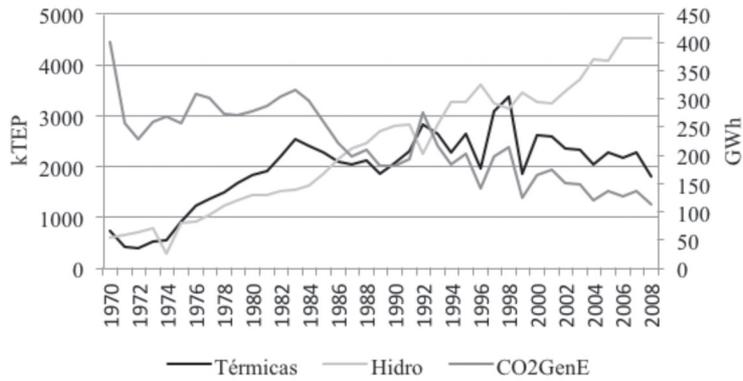
9 Como el cambio de centrales de ciclo abierto a centrales de ciclo combinado operado en Argentina a partir de fines de la década del 90, que significó una reducción de las emisiones por generación pese a no alterar la composición de la matriz (reemplaza una fuente térmica por otra).

10 Quedan fuera del análisis las emisiones de CO₂ provenientes de cambios de uso de la tierra, particularmente relevantes en economías menos desarrolladas, dado que prácticamente la totalidad de las series de emisiones disponibles no las incluyen en el cálculo debido a los problemas metodológicos que implica su estimación.

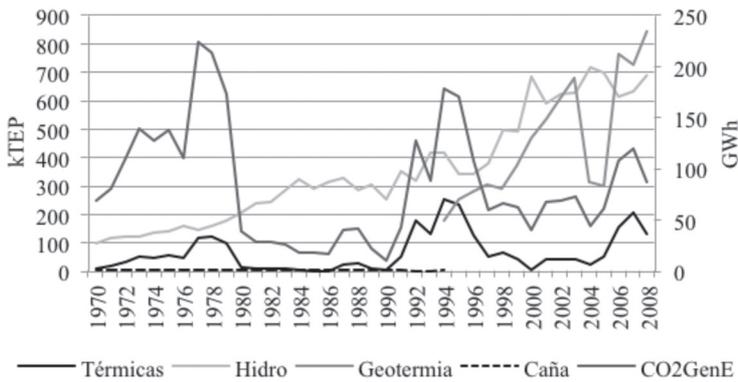
FIGURA 4
COMPOSICIÓN DE LA MATRIZ ELÉCTRICA Y CO₂ POR GENERACIÓN 1970-2008



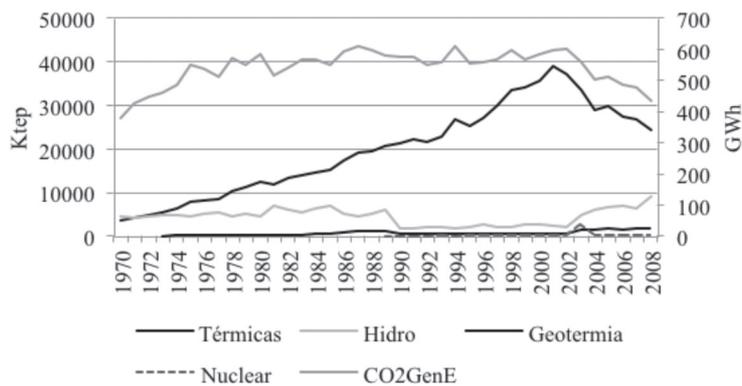
COLOMBIA

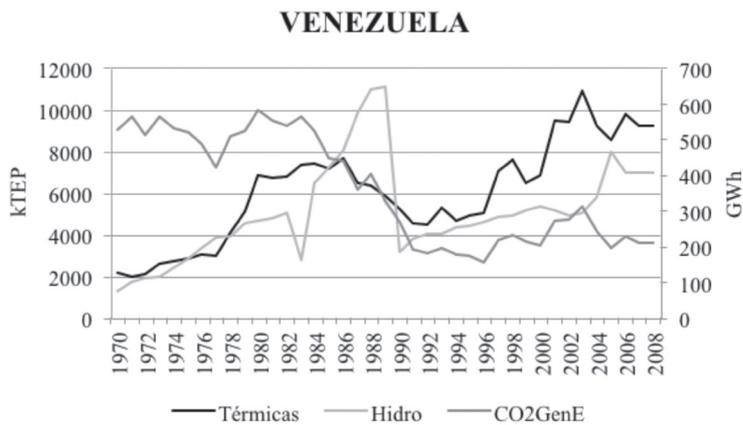
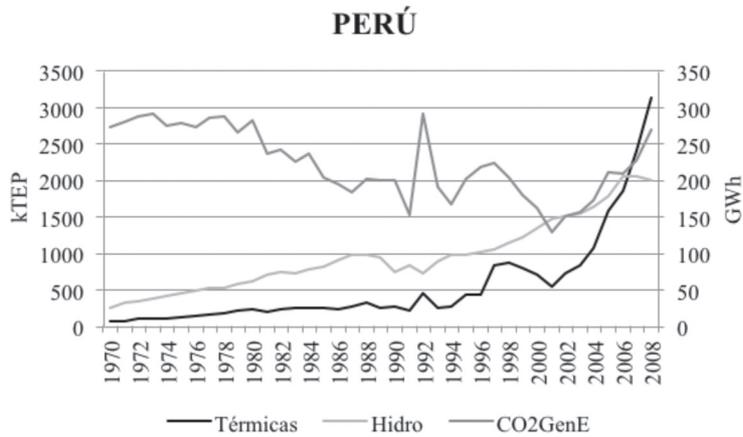
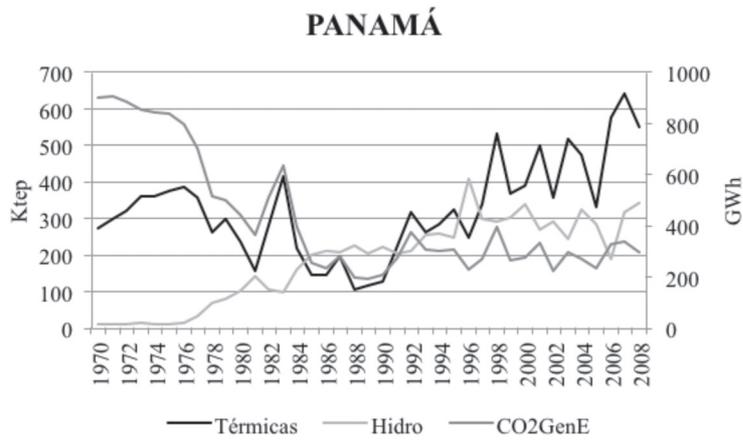


COSTA RICA



MÉXICO





Fuente: Elaboración propia en base a datos de OLADE-SIEE.

5. CONSIDERACIONES FINALES

En el marco del análisis de la validez de la hipótesis de la Curva de Kuznets de Carbono, cientos de publicaciones han estudiado la relación entre las emisiones de CO₂ y el producto, hallando una amplia gama de resultados en virtud de la especificación propuesta, la composición de la muestra, el periodo considerado y la fuente de datos empleada.

No obstante esto, los argumentos sobre los que descansa dicha hipótesis no resultan ineludiblemente válidos para las emisiones de CO₂ independientemente de su origen. En particular, mientras algunos componentes del total de emisiones de CO₂—como las provenientes del sector industrial o del sector transporte—suelen estar estrechamente vinculados al grado de desarrollo de una economía, las emisiones por generación eléctrica no guardan necesariamente una relación determinada con el nivel de producto.

Este trabajo analiza puntualmente una pequeña muestra compuesta por nueve de los países con mayor desarrollo relativo en América Latina, para los que Zilio (2011) no verifica la existencia de una relación estable de largo plazo en el marco de la CKC, y haciendo uso de herramientas estadísticas y econométricas simples arriba a tres conclusiones fundamentales.

En primer término, el análisis descriptivo propuesto indica que en seis de los nueve países de la muestra, no es posible discernir gráficamente ningún vínculo entre las series bajo estudio, o bien la dispersión es tan elevada que no permite aproximar ninguna relación entre ellas con un mínimo de precisión aceptable. Entre los tres restantes, Panamá exhibe una tendencia decreciente, México presenta una relación asemejable a un polinomio de grado tres y Brasil evidencia una tendencia creciente entre emisiones por generación eléctrica y PBI per capita.

Por otra parte, las estimaciones de polinomios suavizados a través de una función kernel indican que sólo en el caso de Colombia es posible delinear una relación con tendencia decreciente suavizada entre ambas series, que sin embargo resulta notablemente sensible a cambios en el parámetro de suavización.

En este caso, la disminución de las emisiones puede responder al predominio de la generación hidro sobre las térmicas desde 1985, año a partir del cual se incrementó incesantemente su participación hasta generar el 70% de la electricidad en el año 2008. En el caso de Panamá, la tendencia decreciente parece ser el resultado de un cambio de estructura importante operado a partir de los años 80, en el que se registró un aumento notable en la participación de la generación hidroeléctrica—que superó en magnitud a la generación térmica durante el periodo comprendido entre 1985 y 1990—y no al crecimiento del producto. En el caso de Brasil, a excepción de las emisiones registradas a niveles de PBI per capita inferiores a los US\$ 2500 (reportadas durante el periodo 1970-1973), el resto de las observaciones exhiben un comportamiento creciente en relación al producto. Si bien esta tendencia puede deberse a un incremento en la demanda eléctrica impulsada por el proceso de crecimiento, cabe destacar que el nivel de emisiones de CO₂ por generación de Brasil es notablemente inferior al del resto de los países de la región, en atención a que su matriz eléctrica depende casi en su totalidad de la generación hidro¹¹.

En segundo lugar, y por los motivos recién expuestos, la inclusión de las emisiones por generación eléctrica en las series de emisiones de CO₂ empleadas para analizar la validez de la CKC puede conducir a conclusiones erróneas sobre su validez, ya que no evidencian guardar relación con el grado de desarrollo de las economías (medido éste a través del producto bruto per capita).

En tercer lugar, y debido a la no verificación de dicha relación, pierde sentido la recomendación surgida de la aceptación de la hipótesis de la CKC, según la cual la mejor—y probablemente—única manera de mejorar las condiciones ambientales es esperar y crecer

11 La participación de la hidro en la generación de energía primaria ha variado entre un mínimo del 66% (1971) y un máximo del 90% (1983-1985) durante el período muestral. En 2008, el 70% de la energía primaria de Brasil provino de hidroeléctricas, el 21,23% de fuentes térmicas, el 8% de generación nuclear y el resto de otras fuentes primarias menores.

para lograrlo. Por el contrario, en materia de generación eléctrica, se vuelve necesario impulsar políticas energéticas integrales que disminuyan la intensidad de carbono, toda vez que sólo de la aplicación del instrumental más simple de la estadística descriptiva puede deducirse que, para los países de la muestra, las emisiones de CO₂ por generación eléctrica no dependen del producto sino de decisiones de política energética.

Así, la composición de la matriz eléctrica se vuelve un instrumento de política crucial para mitigar y atenuar los efectos del cambio climático en una región que, pese a no ser mayormente responsable del calentamiento global, sufre mayormente sus consecuencias debido a su elevado grado de vulnerabilidad.

A futuro, quedan abiertas a partir de este trabajo nuevas líneas de investigación. La primera de ellas, la validación de la CKC empleando series de emisiones discriminadas por fuente, con el objetivo de captar potenciales efectos beneficios del crecimiento económico sobre el total de carbono emitido, sin la interferencia de emisiones que no se encuentran vinculadas con el producto. La segunda, el análisis minucioso de la composición de la matriz de generación eléctrica en los países de la región, y de las posibilidades reales de transformarlas hacia formas de generación menos intensivas en carbono. Y la tercera y última, la formulación de una política energética integral de largo plazo que contribuya al esfuerzo por disminuir las emisiones de CO₂ a nivel agregado, en el marco de una política global contra el cambio climático.

REFERENCIAS

- AGRAS, J., CHAPMAN, D., 1999. A dynamic approach to the Environmental Kuznets Curve Hypothesis. *Ecological Economics* 28, 267-277.
- BECKERMAN, W., 1992. Economic Growth and the environment: whose growth? Whose environment? *World Development*, Vol 20 (4), 481-496.
- BHATTARAI, M. y HAMMIG, M., 2001. Institutions and the Environmental Kuznets Curve for deforestation: a cross-country analysis for Latin America, Asia and Africa. *World development*, Vol 29, N° 6, pp. 995-1010.
- BIMONTE, S., 2002. Information access, income distribution, and the Environmental Kuznets Curve, *Ecological Economics* 41, 145 – 156.
- BULTE, E.H. y D.P. VAN SOEST, 2001. Environmental Degradation in Developing Countries: Households and the (Reverse) Environmental Kuznets Curve. *Journal of Development Economics*, 65 (1), pp. 225-235.
- DASGUPTA, S., LAPLANTE, B., WANG H. y WHEELER, D., 2002. Confronting the Environmental Kuznets Curve, *Journal of Economic Perspectives*, Vol. 16, N° 1, pp. 147-168.
- DINDA, S., 2004. Environmental Kuznets Curve Hypothesis: A Survey. *Ecological Economics*, 49, 431-455.
- DINDA, S., COONDOO, D., 2006. Income and emission: a panel data-based cointegration analysis. *Ecological Economics* 57, 167-181.
- GALEOTTI, M., MANERA, M. y LANZA, A., 2009. On the Robustness of Robustness Checks of the Environmental Kuznets Curve Hypothesis. *Environmental and Resource Economics* 42 (4), pp. 30-49.
- GROSSMAN, G. y KRUEGER, A., 1991. Environmental impacts of a North American Free Trade Agreement. NBER, Working Paper N° 3914.
- GROSSMAN, G., KRUEGER, A., 1995. Economic growth and the environment. *The Quarterly Journal of Economics* 110 (2), 353-377.
- HARBAUGH, W., LEVINSON, A. y WILSON, M., 2000. Reexamining the empirical evidence for an Environmental Kuznets Curve". NBER, Working Paper 7711.
- IPCC (2007) "Cambio Climático 2007: Informe de Síntesis". IPCC. Ginebra, Suiza.
- MARTÍNEZ ZARZOSO, I., BENGOCHEA MORANCHO, A., 2003. Testing for an environmental Kuznets curve in Latin-American countries. *Revista de Análisis Económico*, Vol. 18 (1), pp. 3-26.

- NARAYAN, P. K., NARAYAN, S., 2009. Carbon dioxide emissions and economic growth: Panel data evidence from developing countries. *Energy Policy* 38, pp. 661–666.
- OLADE. Organización Latinoamericana de Energía. <http://www.olade.org/siee.html>.
- PANAYOTOU, T., 1993. Empirical tests and policy analysis of environmental degradation at different stages of economic development. Working Paper, Technology and Environment Programme, International Labour Office, Geneva.
- PANAYOTOU, T., 1997. Demystifying the environmental Kuznets curve: turning a black box into a policy tool. *Environment and Development Economics* 2, 465–484.
- PARGAL, S. y WHEELER, D., 1996. Informal Regulation of Industrial Pollution in Developing Countries: Evidence from Indonesia. *The Journal of Political Economy*, Vol. 104, 6, pp. 1314–1327.
- PERMAN, R., STERN, D.I., 2003. Evidence from panel unit root and cointegration tests that the environmental Kuznets curve does not exist. *Australian Journal of Agricultural and Resource Economics* 47, 325–347.
- PNUD, Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, 2010. Informe sobre Desarrollo Humano para América Latina y el Caribe 2010.
- POUDEL B., PAUDEL K. , BHATTARAI, K., 2009. Searching for an Environmental Kuznets Curve in Carbon Dioxide Pollutant in Latin American Countries. *Journal of Agricultural and Applied Economics*, 41(1), pp. 13–27.
- RICHMOND, A. K., KAUFMANN, R. K., 2006. Energy prices and turning points: the relationship between income and energy use/carbon emissions. *Energy Journal* 27(4), 157–80.
- SHAFIK, N., BANDYOPADHYAY, S., 1992. Economic growth and environmental quality: time series and cross-country evidence. Policy Research Working Paper, World Development Report, WPS 904.
- SONG T., ZHENG T., TONG, L., 2008. An empirical test of the environmental Kuznets curve in China: A panel cointegration approach. *China Economic Review* 19, pp. 381–392.
- SURI V., CHAPMAN D., 1998. Economic growth, trade and energy: implications for the environmental Kuznets curve. *Ecological Economics* 25, pp. 195–208.
- TASKIN, F., ZAIM, O., 2000. Searching for a Kuznets Curve in Environmental Efficiency Using Kernel Estimation”, *Economics Letters*, 68, 217–223.
- TORRAS, M., BOYCE, J. K., 1998. Income inequality and pollution: reassessment of the environmental Kuznets Curve. *Ecological Economics* 25 (2), pp. 147–170.
- UNFCCC (1998). United Nations Framework Convention on Climate Change. Kyoto Protocol. UN, 1998.
- WAGNER, M., 2008. The carbon Kuznets curve: A cloudy picture emitted by bad econometrics? *Resource and Energy Economics* 30, pp. 388–408.
- WORLD BANK. <http://data.worldbank.org/data-catalog>.
- ZILIO, M., 2007. Determinantes de las emisiones de dióxido de carbono en América Latina. Anales de la XLII Reunión Anual de la Asociación Argentina de Economía Política, Bahía Blanca.
- ZILIO, M., 2011. La Curva de Kuznets Ambiental: evidencia para América Latina y el Caribe. Departamento de Economía, Universidad Nacional del Sur. Mimeo.

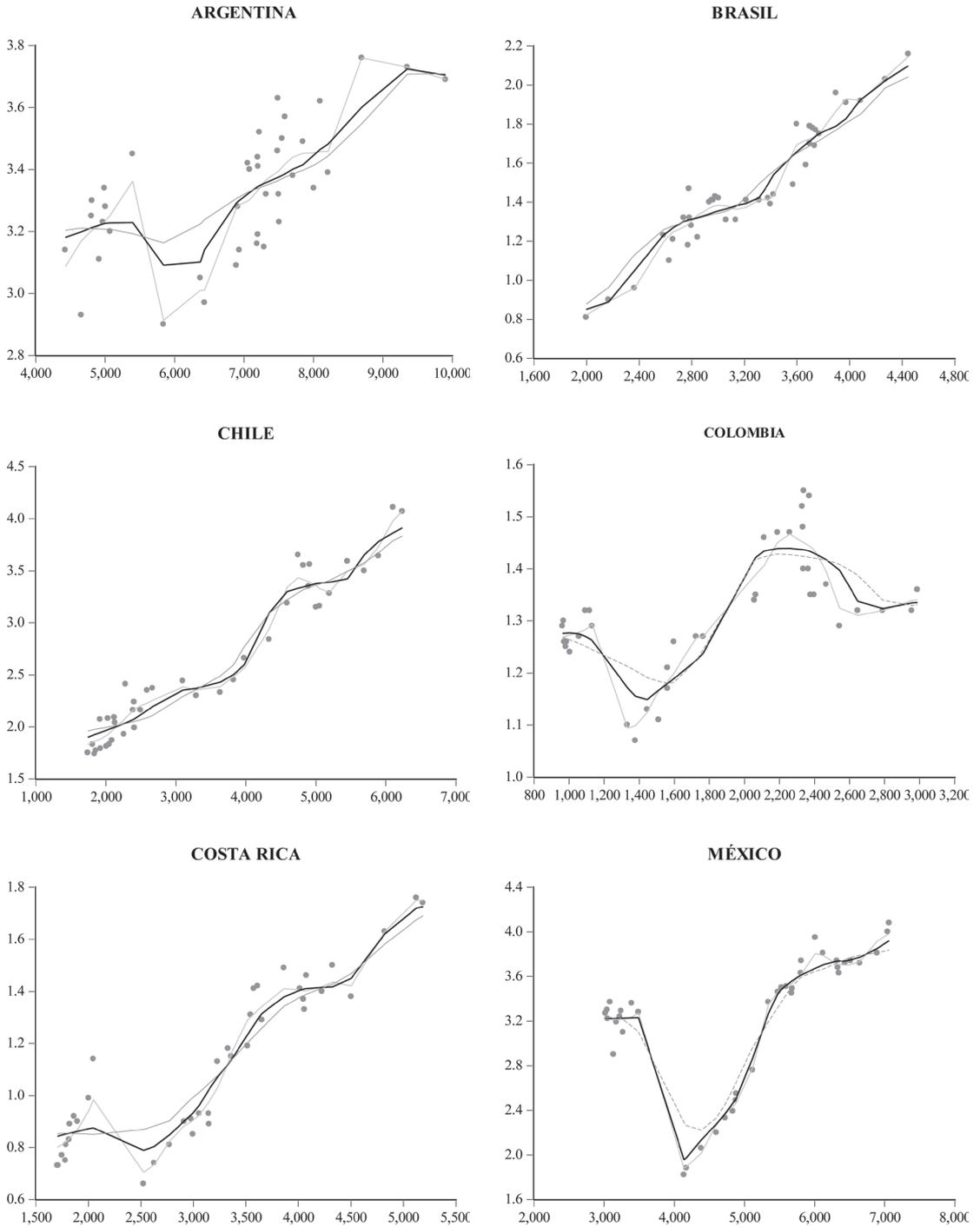
ANEXOS

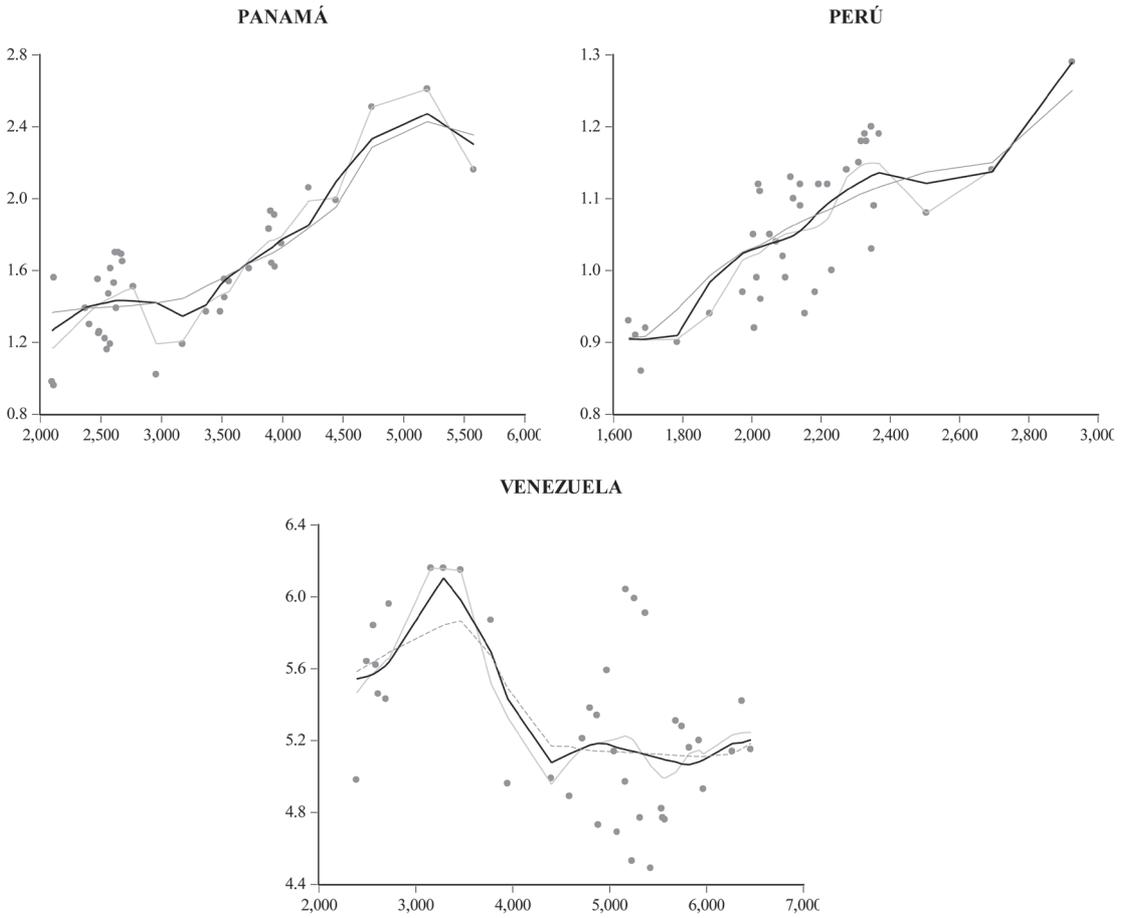
TABLA 1
ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA

País	Var*	Obs	Media	St.D	Mín	Max
Argentina	CO2GenE	39	342.19	166.4548	234.57	785.68
	PBIpc	39	6825.038	1349.047	4429.51	9904.38
Brasil	CO2GenE	39	77.096	21.7230	48.06	141.50
	PBIpc	39	3241.977	576.2049	1996.20	4446.30
Colombia	CO2GenE	39	219.3959	67.7597	111.63	399.79
	PBIpc	39	1821.928	647.9748	961.93	2987.55
Costa Rica	CO2GenE	39	83.06	56.2335	10.14	223.62
	PBIpc	39	3139.378	1026.522	1705.05	5187.64
Chile	CO2GenE	39	324.50	78.9584	195.55	485.98
	PBIpc	39	3430.329	1482.104	1741.72	6235.18
México	CO2GenE	39	540.2272	55.6997	377.68	609.02
	PBIpc	39	4962.385	1338.675	3020.240	7064.38
Panamá	CO2GenE	39	431.4056	232.800	195.00	907.080
	PBIpc	39	3206.180	874.888	2098.040	5579.79
Perú	CO2GenE	39	223.9215	47.13	129.45	291.54
	PBIpc	39	2143.075	263.706	1643.77	2925.59
Venezuela	CO2GenE	39	361.669	151.073	158.53	583.16
	PBIpc	39	4638.752	1241.505	2390.44	6456.82

Fuente: Elaboración propia en base a datos de OLADE-SIEE

FIGURA 1
ESTIMACIONES KERNEL CO₂ PER CAPITA/ PBI PER CAPITA. 1970-2008



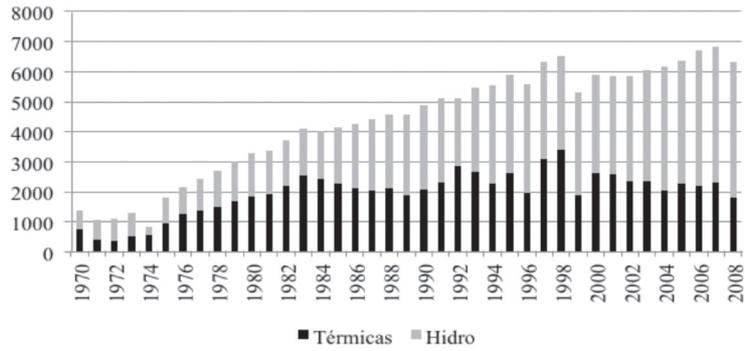


Fuente: Zilio (2011)

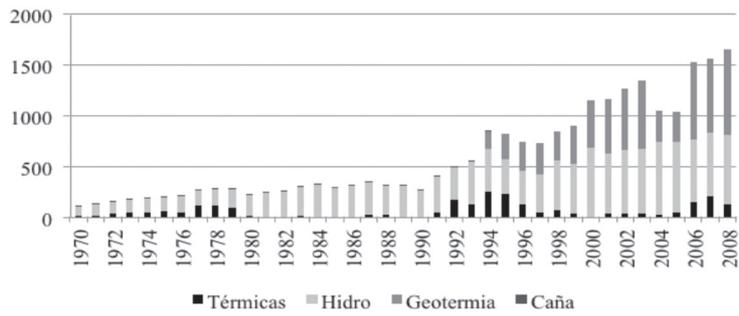
FIGURA 2
COMPOSICIÓN DE LA MATRIZ DE GENERACIÓN ELÉCTRICA 1970-2008



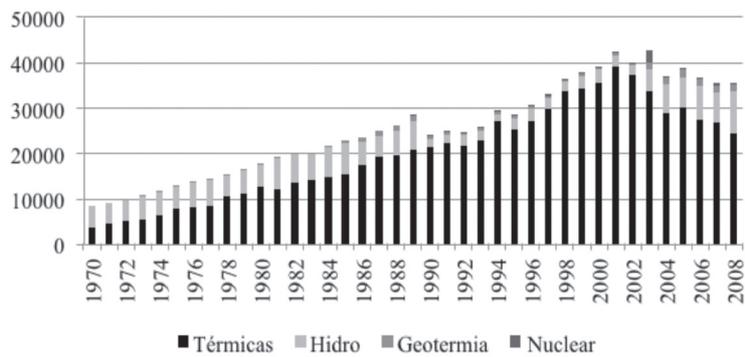
COLOMBIA



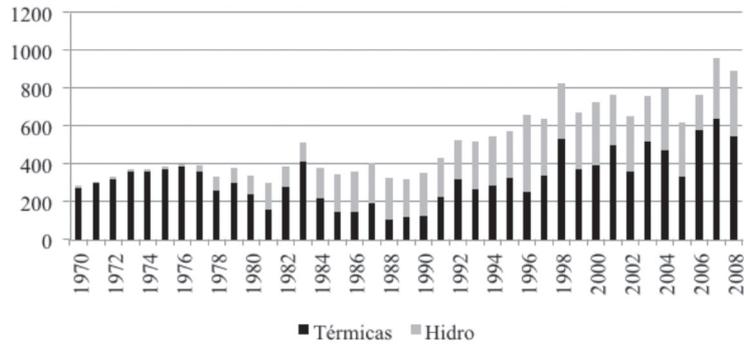
COSTA RICA



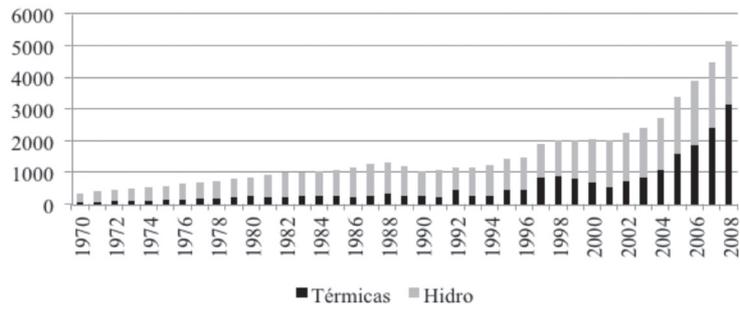
MÉXICO



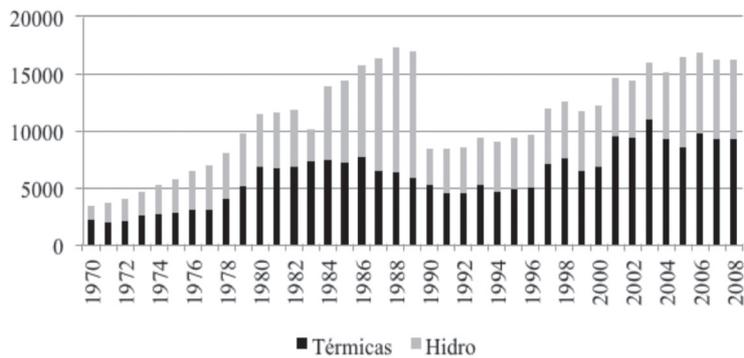
PANAMÁ



PERÚ



VENEZUELA



Fuente: Elaboración propia en base a datos de OLADE-SIEE.