

¿Existe convergencia en las emisiones de CO2 en América del Sur? Análisis de los componentes Kaya en diez países de la región entre 1980 y 2010

Resumen

Este trabajo analiza aspectos de convergencia referentes a las emisiones de CO2 per cápita procedentes del consumo de energía primaria entre diez países de América del Sur (una parte importante del LAC) entre 1980-2010 en base a sus componentes Kaya: PIB per cápita (ingresos respecto de la población), la intensidad energética (consumo de energía con respecto al PIB) y la intensidad de CO2 (emisiones de CO2 en el consumo de energía). Se utiliza la metodología de Phillips y Sul (2007) para probar la existencia de clubes de convergencia en los caminos de evolución de cada componente Kaya. El objetivo de este trabajo es averiguar si algún grupo de los países bajo estudio comparten patrones de convergencia comunes con respecto a las emisiones de CO2 per cápita y en sus fuerzas motrices. Nuestros resultados muestran que el grupo en estudio, en su conjunto, no presenta un patrón de convergencia global en relación con las emisiones de CO2 per cápita, sin embargo, la evidencia sugiere la formación de diversos clubes de convergencia para cada componente Kaya y la existencia de dos grupos de países en los que aparentemente se da una convergencia en todos los componentes de la identidad Kaya (convergencia Plena Kaya). El primer grupo, k1, se encuentran los países con el mejor desempeño económico en general, Chile y Uruguay. El segundo grupo de convergencia Plena Kaya, k2, incluye a las dos mayores economías de la región, Argentina y Brasil, y el país que tiene un valor, en los diferentes componentes Kaya, más cerca al promedio de la región, Ecuador. Por otro lado, sólo en Colombia se puede observar que una mejora tanto en la intensidad energética, como en la intensidad de CO2 conducen a la estabilización o incluso a la reducción de emisiones de CO2.

Palabras clave: Emisiones de CO2, Convergencia, Identidad Kaya.

1. Introducción

Al evaluar el desempeño ambiental, económico y social de las regiones en vías de desarrollo, como en el caso de Latino América y el Caribe (LAC) o una parte significativa de la misma, resulta importante observar el comportamiento individual, así como el comportamiento en conjunto, la evolución y rezagos relativos entre las diferentes economías que conforman estas regiones, y realizar las respectivas comparaciones con economías más avanzadas. Por otra parte, en el escenario actual de creciente integración global, la reducción de las asimetrías entre las economías (en particular en los ingresos y en el uso de recursos) debe ser un tema crítico de atención. A menudo, los países menos desarrollados no son capaces de tomar ventaja de los beneficios de la integración. Este es un tema importante porque si los diferentes

actores ven que la integración no contribuye, o se convierte en un obstáculo para su crecimiento, el proceso pierde el apoyo político necesario para su consolidación (Terra, 2008).

Por otro lado, el impacto de la actividad económica sobre el medio ambiente, dentro de los procesos de industrialización de los países, ha recibido cada vez más atención de los investigadores, políticos y de la sociedad en general. Además, la creciente preocupación por el cambio climático ha permitido crear una rica literatura dedicada al estudio de la relación entre el crecimiento económico, el desarrollo industrial y las emisiones (Adetutu, 2008; Karali et al., 2014).

Este trabajo utiliza una versión de la identidad Kaya¹ (1993), donde las emisiones de CO₂ per cápita (CO₂ sobre la población, CO₂/POP) están descritas en términos de tres componentes: el producto interno bruto per cápita (PIB sobre la población, GPD/POP), la intensidad energética (consumo de energía con respecto al PIB, ENR/PIB), y la intensidad de CO₂ (emisiones de CO₂ sobre la energía consumida, CO₂/ENR), como se explica en la sección 3.

Por otra parte, se considera el enfoque propuesto por Phillips y Sul (2007) para probar la existencia de clubes de convergencia en la evolución de las emisiones de CO₂ per cápita y de sus fuerzas motrices entre los diez países de América del Sur considerados en este estudio. Este enfoque revela la existencia de grupos de países que comparten rasgos comunes con respecto a sus trayectorias de convergencia. Este trabajo contribuye a enriquecer la literatura existente (Kuntsi-Reunanen, 2007; Sheinbaum et al., 2011; Sheinbaum-Pardo and Ruiz, 2012, Robalino-López et al., 2014) sobre consumo energético, convergencia en las emisiones y en las fuerzas motrices que la rigen, en la región de LAC que es una de las mayores regiones emergentes del mundo, con un creciente desarrollo basado en la industrialización de sus economías.

¹ La identidad Kaya sólo trabaja sobre las emisiones de CO₂ procedentes de la quema de combustibles fósiles.

El proceso de convergencia tanto en el consumo de energía y las emisiones de CO₂ per cápita es actualmente una de las principales preocupaciones para las autoridades de las economías desarrolladas que en la actualidad están trabajando hacia el objetivo a largo plazo para lograr una distribución equitativa de las emisiones entre sus países². El objetivo de este trabajo es estudiar si algunos países del grupo de estudio (diez países³ considerados de ahora en adelante Region-10) comparten patrones de evolución en las emisiones de CO₂ per cápita y en sus fuerzas motrices que puedan converger, a la vez se busca evidencia de una posible convergencia plena Kaya (la convergencia sobre todos los componentes Kaya). Hay que tener en cuenta que la identificación de clubes de países que convergen en un determinado nivel de emisiones de CO₂, así como los países en los que los niveles de emisión de CO₂ son divergentes, podría ser una cuestión de interés para los encargados de formular políticas y permitiría diseñar políticas energéticas y medioambientales más eficaces y adecuadas para sus países.

Este trabajo se organiza de la siguiente manera: La sección 2 muestra algunas ideas sobre el proceso de convergencia de los diferentes componentes de Kaya, Sección 3 presenta la metodología seguida en este trabajo para poner a prueba el proceso de la convergencia, la Sección 4 resume y analiza los resultados de este trabajo, y por último, la sección 5 ofrece las conclusiones e implicaciones políticas.

2. Evidencia de procesos de convergencia en la Region-10

En esta sección, se lleva a cabo un análisis cualitativo de la convergencia regional en las emisiones de CO₂ per cápita y de sus fuerzas motrices mediante la aplicación de herramientas estadísticas descriptivas: evolución de la brecha máxima (rango) entre los países, y la

² Un ejemplo es el paquete 2020 para el clima y la energía de la Unión Europea que propone numerosas medidas para alcanzar objetivos a medio plazo con el fin de alcanzar la convergencia y reducir las emisiones en un horizonte a medio plazo (EU-C European Commission, 2010).

³ Argentina, Bolivia, Brasil, Chile, Colombia, Ecuador, Paraguay, Perú, Uruguay y Venezuela.

evolución de la dispersión de la muestra (desviación estándar) de cada componente Kaya para el período completo.

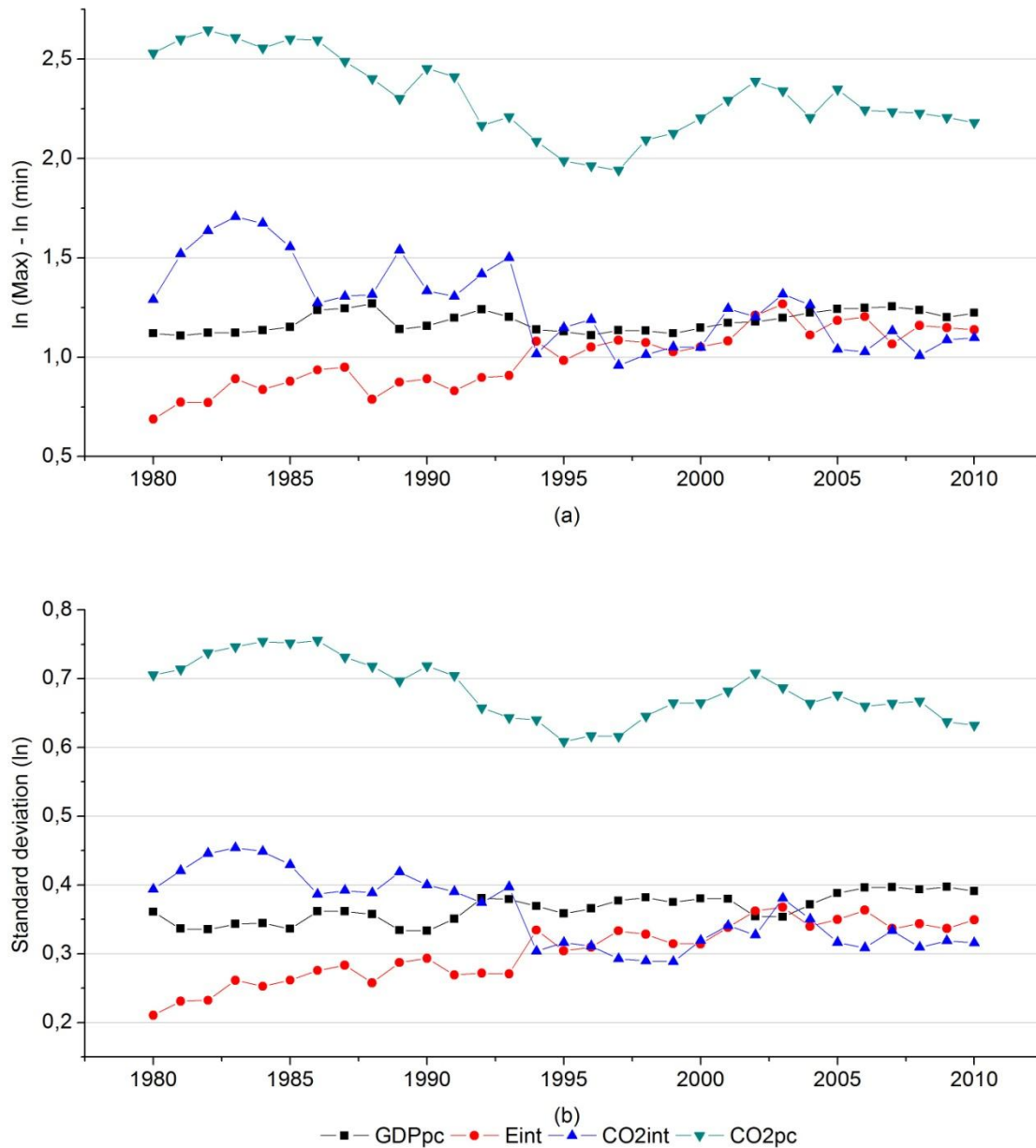


Figura 1: (a) Diferencia entre el LN del valor máximo (Max) y el valor (mínimo) de los componentes Kaya (b) Evolución de la dispersión de los componentes Kaya.

En la Figura 1 se grafica, como una función del tiempo, la diferencia entre el logaritmo natural (LN) del valor máximo y el valor mínimo de cada componente Kaya por país. De aquí podemos inferir que la distancia (rango) para el ingreso per cápita aumentó de 1,12 a 1,22 durante el período 1980-2010 (line con cuadros negros en la Figura 1a). De hecho, la

evolución del rango sugiere un proceso general de no convergencia, pero al mismo tiempo se puede observar que existió un proceso de convergencia transitoria (catching-up⁴) a mediados de la década de 1990, seguido por un camino no convergente al final del período analizado.

Para el caso de la intensidad energética, el rango aumentó de 0,69 a 1,14 en el período analizado (línea con puntos rojos en la Figura 1a), lo que sugiere una tendencia de no convergencia en la Región-10. Sin embargo, en la última década esta brecha se ha estabilizado, lo que sugiere que cada país está alcanzando un Estado⁶ constante en su tasa de crecimiento de la intensidad energética.

En relación con la intensidad de CO₂, el rango disminuyó desde 1,29 a 1,10 (línea con triángulos azules en la Figura 1a) lo que sugiere un proceso de convergencia en la Región-10. Sin embargo, también se observa que desde 1994 esta rango se estabilizó, lo que indica que cada país está llegando a un estado de equilibrio⁵ en el valor de la tasa de crecimiento de la intensidad de CO₂ dentro de la Región-10.

Centrándose en el rango de las emisiones de CO₂ per cápita, se observa que hay una disminución desde los 2,53 a 2,18 (línea con triángulos invertidos cian en la Figura 1a), que sugiere un proceso de convergencia (catching-up) en las emisiones de CO₂ per cápita en la Región-10.

La Figura 1b muestra la evolución en el tiempo de la desviación estándar del LN de cada componente Kaya. Esta medida es un proxy de la denominada Sigma-convergencia⁶. La

⁴ Catching-up o Beta-convergencia: indica que las economías pobres o en desarrollo crecen más rápido en comparación con las economías con un mayor ingreso per cápita y alcanzar gradualmente niveles similares de ingreso per cápita. Por lo tanto, todas las economías, con el tiempo, pueden converger en términos de renta per cápita.

⁵ Se considera que todos los países tienden a converger hacia un estado de equilibrio, pero el nivel del estado de equilibrio depende de la cultura y las preferencias de los individuos, las instituciones y los sistemas fiscales y legales de cada país.

⁶ La Sigma-convergencia existe si la dispersión y las desigualdades entre países baja con el tiempo. Para que haya sigma-convergencia es necesario que haya beta-convergencia.

evidencia en el PIB per cápita (línea con cuadrados negros) muestra una tendencia al alza (de 0,36 a 0,39) lo que indica un proceso de no convergencia en el período analizado.

En el caso de la intensidad energética (línea con puntos rojos en la Figura 1b) la evidencia también muestra un aumento en el valor de la desviación estándar (de 0,21 a 0,34), lo que indica un proceso de no convergencia en este componente como se ha indicado anteriormente. Sin embargo, también se muestra una estabilización de este valor en la última década que apoya la idea de que cada país también está llegando a un estado de equilibrio en la tasa de crecimiento de la intensidad de energía al final del período estudiado.

Los datos históricos también muestra una disminución (de 0,39 a 0,31) en el valor de la desviación estándar de la intensidad de CO₂ (línea con triángulos azules en la Figura 1b), lo que indica un proceso de convergencia en la región. Sin embargo, también muestra una estabilización de este valor desde 1994, lo que apoya la idea de que cada país está alcanzando un estado de equilibrio en la tasa de crecimiento de la intensidad de CO₂.

Centrándose en la emisión de CO₂ por habitante la evidencia muestra también una disminución (de 0,71 a 0,63) en el valor de la desviación estándar (línea con triángulos invertidos cian en la Figura 1b), lo que sugiere un proceso de convergencia en la Región-10.

3. Metodología

En este estudio utilizamos datos oficiales del Banco Mundial (World Bank, 2013) en relación con el PIB per cápita (USD 2.005 PPA), la intensidad energética (kgoe/000-USD), la intensidad de CO₂ (kgCO₂/kgoe) y las emisiones de CO₂ per cápita (toneladas) para el período 1980-2010. El estudio incluye diez países de América del Sur: Argentina, Bolivia, Brasil, Chile, Colombia, Ecuador, Perú, Paraguay, Uruguay y Venezuela (Región-10).

Con este conjunto de datos se aplicó la metodología propuesta por Phillips y Sul (2007) (PS) a las emisiones de CO₂ per cápita y a sus tres fuerzas motrices por separado. La identidad Kaya

(Kaya, 1993) se utiliza comúnmente como una herramienta analítica para explorar el efecto de las fuerzas motrices de las emisiones de CO₂ por la utilización de combustibles fósiles por parte de la industria de los países (Alcántara and Padilla, 2005). De acuerdo con esta identidad, las emisiones de CO₂ per cápita de un país dado se descomponen en el producto de tres componentes: el PIB per cápita (renta per cápita del país), la intensidad energética (energía consumida por unidad de PIB) y la intensidad de CO₂ (CO₂ emitido por unidad de energía consumida (IPCC, 2000)). La identidad utilizada en este trabajo se puede escribir de la siguiente manera:

$$CO2pc = PIBpc \times Eint \times CO2int, \quad (1)$$

$$\frac{CO2}{POP} = \frac{PIB}{POP} \times \frac{ENR}{PIB} \times \frac{CO2}{ENR}, \quad (2)$$

donde CO₂pc es la emisión de CO₂ por habitante, PIBpc es el PIB per cápita, Eint es la intensidad energética y, por último, CO₂int representa la intensidad de CO₂. Este trabajo intenta verificar si la convergencia en el camino de evolución seguida por las fuerzas impulsoras implica la convergencia en el camino de evolución de las emisiones de CO₂ por habitante. Se a denominado convergencia plena Kaya al caso en que existiera convergencia en las tres fuerzas impulsoras (PIBpc, EInt y CO₂int) así como en el CO₂pc.

Un tema importante en la literatura empírica de convergencia es la posible existencia de equilibrios múltiples. En este caso, el rechazo de convergencia general (de todos los países) no implica la ausencia de convergencia en subgrupos del panel (tenga en cuenta que la convergencia general se refiere a la convergencia sobre todos los países de la Región-10).

4. Resultados empíricos y análisis

En análisis hecho se ha aplicado el procedimiento de PS por separado al CO₂ per cápita y de sus tres fuerzas motorices. Los resultados se muestran en la Tabla 1, mientras que la Figura 3 presenta los caminos de evolución tomados por cada componente Kaya. Antes de comentar

estos resultados, hay que tener en cuenta que los países con mejores resultados son aquellos que alcanzan los valores más bajos de emisiones de CO₂ per cápita, la intensidad de CO₂ y la intensidad de la energía así como los valores más altos en el PIB per cápita⁷.

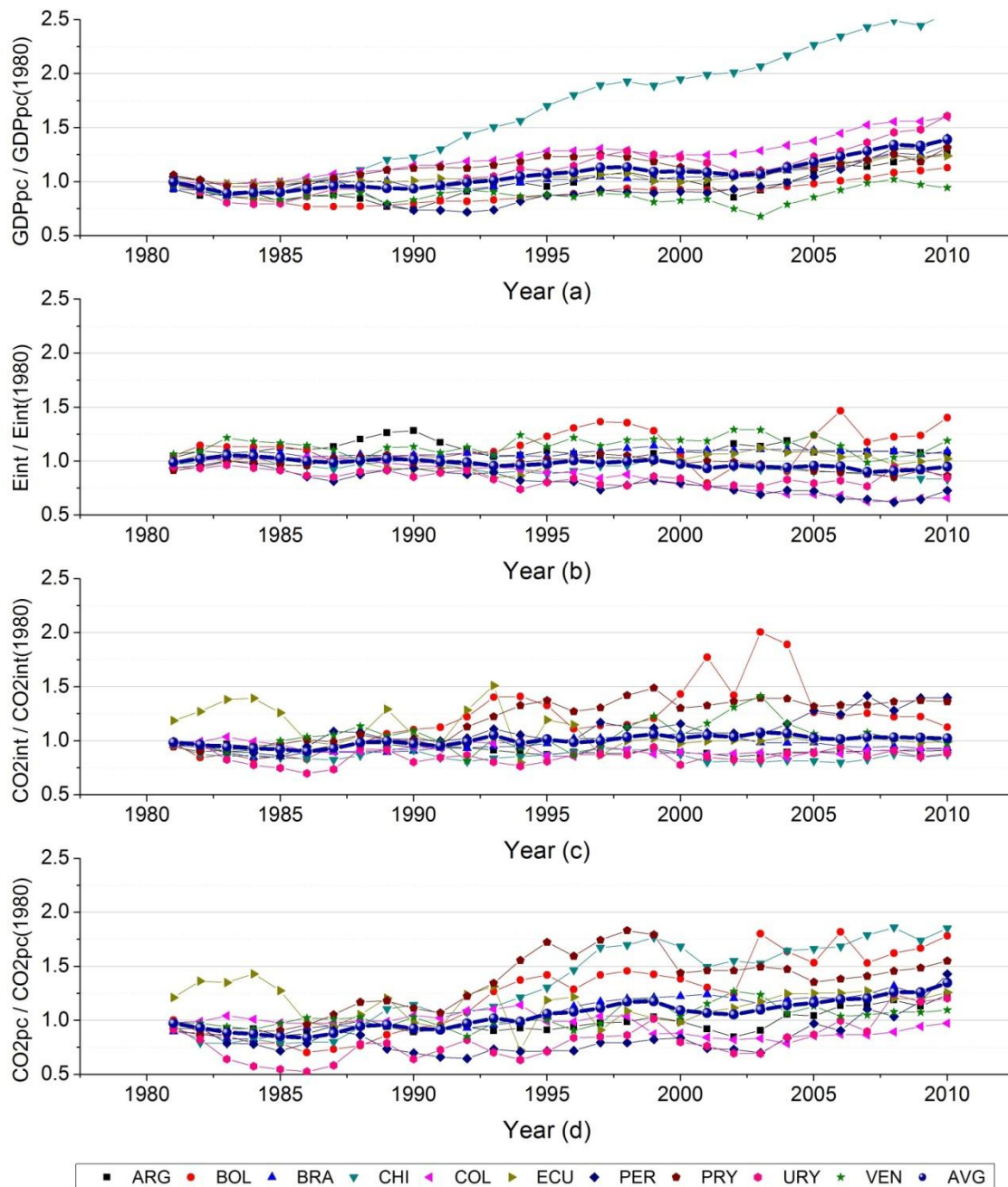


Figura 2: caminos de evolución para el período 1980-2010. (a) PIB per cápita, (b) intensidad energética, (c) intensidad de CO₂, (d) CO₂ per cápita (línea gruesa corresponde al valor medio de la Region-10).

⁷ Clubes q1, e1, i1 y c1 tienen el valor de convergencia mayor. Clubs q2, e2, i2 y c2 tienen el valor de convergencia menor.

En cuanto al PIB per cápita, se encontraron dos clubes de convergencia (véase el Tabla 1). El primer club, q1, incluye a Chile, Colombia y Uruguay. Los países de este club registraron valores superiores a la media de la región durante casi todo el período analizado (ver Figura 3a). El segundo club, q2, incluye a Argentina, Bolivia, Brasil, Ecuador, Perú, Paraguay y Venezuela los cuales tienen un valor de convergencia más bajo. Por lo tanto el primer club tiene un mejor desempeño económico que el segundo club. Vale la pena señalar que la región tiene una tendencia general al alza y que Chile tiene, por lejos, el mejor desempeño económico de la región (ver Figura 2a).

Los resultados en cuanto a la intensidad energética también apuntan a la existencia de dos clubes (ver Tabla 1). El primero de ellos, club e1, incluye a Argentina, Bolivia, Brasil, Ecuador y Venezuela. El camino de evolución para todos los países incluidos en este club está por encima del promedio de la región (ver Figura 2b), lo que significa que, en general, estos países consumen más energía para producir una unidad de renta. Los países del segundo club, club e2, son Chile, Paraguay y Uruguay, cuyos caminos de evolución se encuentran por debajo del valor promedio de la región. Por último, dos países (Colombia y Perú) no están incluidos en ningún club debido a que sus trayectorias de evolución no convergen dentro de los dos clubes encontrados.

Los resultados en cuanto a la intensidad energética también apuntan a la existencia de dos clubes (ver Tabla 1). El primero de ellos, club e1, incluye a Argentina, Bolivia, Brasil, Ecuador y Venezuela. El camino de evolución para todos los países incluidos en este club está por encima del promedio de la región (ver Figura 2b), lo que significa que, en general, estos países consumen más energía para producir una unidad de renta. Los países del segundo club, club e2, son Chile, Paraguay y Uruguay, cuyos caminos de evolución se encuentran por debajo del valor promedio de la región. Por último, dos países (Colombia y Perú) no están

incluidos en ningún club debido a que sus trayectorias de evolución no convergen dentro de los dos clubes encontrados.

Respecto a la intensidad de CO₂, los resultados también apunta a la existencia de dos clubes de convergencia (véase el Tabla 1). El primero de ellos, club i1, incluye Bolivia, Perú y Paraguay. Los países de este club registran valores superiores a la media regional durante casi todo el período analizado (ver Figura 2c). El segundo club, club de i2, incluye a Argentina, Brasil, Chile, Colombia, Ecuador, Uruguay y Venezuela. Sin embargo, la evidencia también sugiere que la intensidad de CO₂ en la Región-10 se ha mantenido casi constante durante el período examinado (véase la Figura 2c), lo que indica que no ha existido una renovación tecnológica o introducción de procesos menos contaminantes dentro de la industria de la Región-10.

En lo concerniente a las emisiones de CO₂ per cápita, los resultados obtenidos también apuntan a la existencia de dos clubes (ver Tabla 1). El primero de ellos, club c1, incluye Argentina, Bolivia, Brasil, Chile, Ecuador, Paraguay y Uruguay. Los caminos de evolución de todos los países incluidos en este club muestran una tendencia al alza (véase la Figura 2d). Los países de club c2, Colombia y Venezuela, muestra una estabilización en el valor de sus emisiones per cápita.

Por último, se considerar la llamada convergencia plena Kaya, que permite la obtención de dos grupos de países, k1, que está compuesto por Chile y Uruguay y k2 formado por Argentina, Brasil y Ecuador. Estos países han convergido en todos los términos de la identidad Kaya en sus respectivos clubes.

En este punto, la evidencia encontrada sugiere la conformación de diversos clubes de países con diferente evolución de sus componentes Kaya. La conformación de estos diferentes clubes, así como su rendimiento relativo en los diferentes componentes necesita ser matizada

(véase la Tabla 1). Podemos tener en cuenta los subgrupos históricos presentes en la región como punto de partida. El primero de estos subgrupos son los llamados países andinos (Bolivia, Colombia, Ecuador, Perú y Venezuela); el segundo grupo se clasifica como países del Cono Sur (Argentina, Chile, Paraguay y Uruguay) y por último la sub-región de Brasil.

GDPpc $\left(\frac{GDP}{POP}\right)$	Energy Intensity $\left(\frac{ENR}{GDP}\right)$	CO ₂ intensity $\left(\frac{CO_2}{ENR}\right)$	CO ₂ per capita $\left(\frac{CO_2}{POP}\right)$	Full Kaya Convergence
Club q_1	Club e_1	Club i_1	Club c_1	Group k_1
[CHL, COL, URY]	[ARG, BOL, BRA, ECU, VEN]	[BOL, PER, PRY]	[ARG, BOL, BRA, CHL, ECU, PER, PRY, URY]	[CHL, URY]
log $t = -0.346$ t -stat = -1.315	log $t = -0.766$ t -stat = -1.191	log $t = 4.107$ t -stat = 1.678	log $t = 0.546$ t -stat = 1.529	- -
Club q_2	Club e_2	Club i_2	Club c_2	Group k_2
[ARG, BOL, BRA, ECU, PER, PRY, VEN]	[CHL, PRY, URY]	[ARG, BRA, CHL, COL, ECU, URY, VEN]	[COL, VEN]	[ARG, BRA, ECU]
log $t = -0.071$ t -stat = -0.094	log $t = 2.947$ t -stat = 3.087	log $t = 3.557$ t -stat = 4.622	log $t = 1.268$ t -stat = 1.334	- -
-	Non-converging [COL, PER]	-	-	-

Tabla 1: Clasificación del club de Convergencia. log t corresponde al doble de la velocidad de convergencia del club hacia la media. t -stat es el estadístico de la prueba de convergencia, que se distribuye como una simple t -test de un solo lado con un valor crítico de -1,65 (ver Phillips y Sul, 2007 para más detalles).

En cuanto al PIB per cápita y su evolución, la evidencia histórica indica que tres de los países andinos (Colombia, Ecuador y Perú) llegan a la media regional del PIB per cápita (9.489 dólares) al final del período analizado (aunque se encuentran en diferentes clubes de convergencia). Por otra parte, como es bien conocido, la enorme riqueza de recursos naturales (petróleo) de Venezuela lo hace una de las principales economías y actores de la Región-10, con un PIB per cápita superior a la media mundial (10 893 USD), y finalmente Bolivia, que ha sido históricamente el país menos desarrollado económicamente en la región, tiene un PIB

per cápita de 4.246 USD, que es menos de la mitad del valor promedio mundial para el final del período de análisis.

En cuanto a la región del Cono Sur, tres de estos países, Chile, Argentina y Uruguay, se encuentran entre las economías más desarrolladas (aunque se encuentran en diferentes clubes de convergencia), con los PIB per cápita más alto de América del Sur, respectivamente, dejando a Brasil en el quinto lugar después de Venezuela. Todos estos países tienen un PIB per cápita superior a la media mundial. Por otro lado, Paraguay es el único país del Cono Sur por debajo del PIB regional per cápita (5.313 dólares).

Con respecto a la evolución del PIB per cápita, Colombia es el único país andino que se encuentra en el primer club de la convergencia (véase el club q1 en la Tabla 1), ya que su ritmo de crecimiento es más alto que el resto de los países andinos (segundo en la región, véase la Figura 2a). También se incluye en el club q1 a Chile y Uruguay, que muestra que su ubicación entre los mayores PIB per cápita de la Región-10 se debe a un crecimiento constante de sus economías, por encima del promedio de la región. En el segundo club de la convergencia, club q2, con un aumento ligeramente más lento (pero, en general, con tendencia creciente) son los cuatro países andinos, Bolivia, Ecuador, Perú y Venezuela, dos países del Cono Sur, Argentina y Paraguay, y finalmente, Brasil, los cuales forman el segundo club más grande de la convergencia en la Región-10 (véase el Tabla 1).

En lo concerniente a la intensidad energética, una parte de los países andinos, Venezuela, Bolivia y Ecuador están en el primer club de la convergencia (véase el club e1 en la Tabla 1), que tienen el desempeño más bajo. Ecuador es aparentemente el país andino más estable porque está más cerca del valor promedio de intensidad energética (véase la Figura 2b) en la Región-10. Tanto Bolivia como Venezuela comparten la primera posición (valores más altos) de intensidad energética. Argentina y Brasil también pertenecen al club de e1. Los otros tres

países del Cono Sur, Chile, Paraguay y Uruguay, se incluyen en el club de valores más bajos de intensidad energética, club e2 (ver Tabla 1), lo que sugiere que una mejora en la eficiencia energética se relaciona con una mejora en el valor del PIB, al menos en el caso de Chile y Uruguay. Por último, Colombia y Perú han seguido un camino diferente evolución que en el resto de países y aparentemente han logrado mejores resultados en este sentido. La Tabla 1 muestra que estos dos países no pertenece a ninguno de los dos clubes mencionados anteriores.

En cuanto a la evolución de la intensidad de CO₂, tres países andinos, Colombia, Ecuador y Venezuela, se incluyen en el grupo con un rendimiento ligeramente mejor (véase club i2 en la Tabla 1), cuyos valores están por debajo del promedio de la Región-10 en la última década. La mayoría de los países del Cono Sur, Argentina, Chile y Uruguay, así como Brasil también se incluyen en el club de i2. El primer club de convergencia, club i1, que presenta valores superiores a la media de Región-10, incluye a Bolivia, Perú y Paraguay. Esta evidencia sugiere que estos países cuentan con una infraestructura industrial más antigua y menos eficiente en términos energéticos y medioambientales (aumento de las emisiones por unidad de energía consumida).

Por último, centrándonos en la evolución de CO₂ per cápita, como ya hemos mencionado, Venezuela es, con mucho, el mayor emisor per cápita de la Región-10 y de LAC (6,3 toneladas métricas, ver la Sección 2), por lo tanto, es muy difícil que su tasa de emisión aumente aún más. La evidencia indica que en relación con la tasa de crecimiento de las emisiones per cápita, el club c1 se ha convertido en el club más grande de la convergencia en la Región-10, donde se incluyen ocho de los diez países estudiados (ver Tabla 1). El club c1 contiene las economías que han experimentado el mayor aumento de sus emisiones. En particular, Chile se destaca por el efecto de su desarrollo económico sobre sus emisiones y Bolivia debido a su maquinaria industrial aparentemente poco eficiente y todavía muy

contaminante (ver Figura 3d). Dentro del club c2 se encuentran Venezuela y Colombia, que presentan la menor tasa de crecimiento de las emisiones. Es necesario señalar que la evidencia no muestra que Venezuela logró detener sus emisiones, pero aparentemente alcanzó el techo de este valor. Colombia es el único país de la Región-10 donde se observa una mejora en ambas intensidades, de energía y CO2 (convergencia hacia valores mas bajos), lo que conduce a una estabilización o incluso a una reducción de las emisiones (véase la Tabla 1 y la Figura 2d).

	ARG	BOL	BRA	CHL	COL	ECU	PER	PRY	URY
VEN	$q_2 e_1 i_2$	$q_2 e_1$	$q_1 e_1 i_2$	i_1	$i_1 e_2$	$q_2 e_1 i_2$	q_2	q_2	i_2
URY	$i_1 c_1$	e_1	$i_1 c_1$	$q_1 e_2 i_2 c_1$	$q_1 i_2$	$i_1 c_1$	c_1	$e_2 c_1$	-
PRY	$q_2 c_1$	$q_2 i_1 c_1$	$q_2 c_1$	$e_2 c_1$	0	$q_2 c_1$	$q_2 i_1 c_1$	-	-
PER	$q_2 c_1$	$q_2 i_1 c_1$	$q_2 c_1$	c_1	0	$q_2 c_1$	-	-	-
ECU	$q_2 e_1 i_2 c_1$	$q_2 e_1 c_1$	$q_2 e_1 i_2 c_1$	$i_2 c_1$	i_2	-	-	-	-
COL	i_2	0	i_2	$q_1 i_2$	-	-	-	-	-
CHL	$i_2 c_1$	c_1	$i_2 c_1$	-	-	-	-	-	-
BRA	$q_2 e_1 i_2 c_1$	$q_2 e_1 c_1$	-	-	-	-	-	-	-
BOL	$q_2 e_1 c_1$	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabla 2: clubes comunes entre los países. q_1 y q_2 representan el primer y segundo club en el PIB per cápita, e_1 y e_2 para el primer y segundo club de la intensidad energética, i_1 e i_2 para el primer y segundo club en la intensidad de CO2, c_1 y c_2 para la primera y segundo club en las emisiones de CO2 per cápita, respectivamente.

5. Conclusiones e implicación políticas

En este trabajo se ha estudiado el proceso de convergencia de las emisiones de CO2 per cápita en diez países de América del Sur desde 1980 hasta 2010 sobre la base de la identidad de Kaya (Kaya, 1993). En una primera aproximación se analizan evidencias de convergencia utilizando herramientas estadísticas descriptivas. Estos resultados no muestran evidencias claras de convergencia ni en las emisiones de CO2 per cápita, ni en sus fuerzas motrices (véase la Sección 3).

Como una segunda aproximación, se aplicó la metodología propuesta por Phillips y Sul (2007), que prueba la existencia de clubes de convergencia en el camino de evolución de las

emisiones de CO₂ per cápita y de sus fuerzas motrices. Este trabajo intenta encontrar evidencia de si algún conjunto de los países de la región comparten patrones de convergencia comunes en las emisiones de CO₂ per cápita y en sus fuerzas motrices (véase la Tabla 2) o muestran evidencia de una convergencia plena Kaya (la convergencia en todos los términos de la identidad Kaya).

Los resultados obtenidos también nos permiten desentrañar si la convergencia en la evolución de las fuerzas motrices de las emisiones de CO₂ implica la convergencia en el camino de evolución de las emisiones de CO₂ per cápita. Como se muestra claramente en las tablas 1 y 2, Argentina, Brasil, Ecuador, y Venezuela convergen en los tres componentes de Kaya, pero sin embargo, sólo Argentina, Brasil y Ecuador convergen en CO₂ per cápita. Por otra parte, uno puede encontrar la convergencia de CO₂ per cápita sin tener convergencia en los tres componentes Kaya. Este es el caso de las parejas de países Bolivia-Chile, Perú-Chile y Perú-Uruguay. Además, en la Tabla 2 se puede observar claramente los clubes de convergencia comunes entre pareja de países.

La convergencia plena Kaya (la convergencia sobre todos los componentes Kaya) se evidencia en dos grupos: i) grupo k1, compuesto por dos miembros del Cono Sur, Chile y Uruguay. Estos países presentan el mayor crecimiento económico en la región y, a su vez muestran una mejora (reducción) de la intensidad energética y en la intensidad de CO₂, pero también se evidencia que su notable crecimiento económico produce a su vez un aumento de sus emisiones. El segundo grupo, k2, incluye a tres países, Argentina, Brasil y Ecuador, que tienen un crecimiento moderado de su PIB y un valor relativamente estable, por encima de la media regional, de la intensidad energética, además de evidenciar una reducción moderada de sus intensidades de CO₂ (por debajo del promedio de la región), lo que ha resultado en un aumento moderado de las emisiones de CO₂ per cápita. Es importante señalar que sólo en Colombia existe la evidencia de que una mejora tanto en la intensidad energética y la

intensidad de CO₂ conduce a una estabilización o incluso a una reducción sobre las emisiones de CO₂ per cápita (véase la Figura 2 y la Tabla 2).

6. Referencias

- Terra M. “Asymmetries in Mercosur: An obstacle to growth. in asymmetries in Mercosur: a growth impediment?”. Red MERCOSUR Economic Research: Montevideo, 2008.
- Adetutu M.O. “Energy efficiency and capital-energy substitutability: Evidence from four OPEC countries”. *Applied Energy* 119, 363-370, 2014.
- Karali N., Xu T., and Sathaye J. “Reducing energy consumption and CO₂ emissions by energy efficiency measures and international trading: A bottom-up modeling for the U.S. iron and steel sector”. *Applied Energy* 120, 133-146, 2014.
- Kaya Y. and Yokobori K. “Environment, Energy, and Economy: strategies for sustainability”. Conference on Global Environment, Energy, and Economic Development (Tokyo, Japan), 1993.
- Phillips P.C.B. and Sul D. “Transition modeling and econometric convergence tests”. *Econometrica* 75 (6), 1771-1855, 2007.
- Kuntsi-Reunanen E. “A comparison of Latin american energy-related CO₂ emissions from 1970 to 2001”. *Energy Policy* 35 (2007) 586-596, 2007.
- Sheinbaum C., B.J. Ruiz, and Ozawa L. “Energy consumption and related CO₂ emissions in five Latin American countries: Changes from 1990 to 2006 and perspectives”. *Energy* 36 (2011) 3629-3638, 2011.
- Sheinbaum-Pardo C. and Ruiz B.J. “Energy context in Latin America”. *Energy* 40 (2012) 39-46, 2012.
- Robalino-López A., Mena-Nieto A., and García-Ramos J.E. “System dynamics modeling for renewable energy and CO₂ emissions: A case study of ecuador”. *Energy for Sustainable Development* 20, 11-20, 2014.
- EU-C European Commission. “Analysis of options to move beyond 20% greenhouse gas emission reductions and assessing the risk of carbon leakage”. Technical report, European Commission, 2010. convergence dynamics in the eu”. *Atl Econ J* 38:169-181, 2010.
- World Bank. “Statistics and national referents homepage”, October 2013.
- Alcántara V. and Padilla E. “Analysis of CO₂ and its explanatory factors in the different areas of the world.”. Technical report, Universidad Autonoma de Barcelona, Department of Economics Applied, Spain, 2005.