

De activos tóxicos a ingreso tóxico

CEPROEC Documento de Trabajo 2015_07

Fander Falconí¹, Rafael Burbano², Jesus Ramos-Martín³

1) Profesor Investigador de Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales (FLACSO), Calle La Pradera E7-174 y Av. Diego de Almagro, Quito, Ecuador

2) Departamento de Matemática, Escuela Politécnica Nacional, Ladrón de Guevara E11-253, Quito, Ecuador

3) Centro de Prospectiva Estratégica, Instituto de Altos Estudios Nacionales, Av. Río Amazonas N37-271 y Villalengua, Quito, Ecuador

* Autor para correspondencia: ffalconi@flacso.edu.ec



19 de Octubre de 2015

Fander Falconí, Rafael Burbano, Jesús Ramos-Martín, 2015
De activos tóxicos a ingreso tóxico
Documento de Trabajo 2015_07
[http://ceproec.iaen.edu.ec/download/wps\(2\)/2015_07.pdf](http://ceproec.iaen.edu.ec/download/wps(2)/2015_07.pdf)

Centro de Prospectiva Estratégica (CEPROEC)
Instituto de Altos Estudios Nacionales (IAEN)
Av. Río Amazonas N37-271 y Villalengua
Quito, Ecuador
<http://ceproec.iaen.edu.ec>

Foto de portada: Armin Kübelbeck, CC-BY-SA, Wikimedia Commons,
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Kuehkopf_Oelfoerderung_02.jpg

De activos tóxicos a ingreso tóxico

CEPROEC Documento de Trabajo 2015_07

Fander Falconí^{1*}, Rafael Burbano², Jesus Ramos-Martín³

1) Profesor Investigador de Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales (FLACSO), Calle La Pradera E7-174 y Av. Diego de Almagro, Quito, Ecuador

2) Departamento de Matemática, Escuela Politécnica Nacional, Ladrón de Guevara E11-253, Quito, Ecuador

3) Centro de Prospectiva Estratégica, Instituto de Altos Estudios Nacionales, Av. Río Amazonas N37-271 y Villalengua, Quito, Ecuador

* Autor para correspondencia: ffalconi@flacso.edu.ec

Resumen

Los científicos del cambio climático han establecido el límite de aumento de temperaturas en 2°C a partir del cual el proceso sería completamente irreversible. Este nivel viene determinado por la concentración de CO₂ en la atmósfera. Evitar sobrepasar este umbral implica dejar de utilizar una cantidad ingente de combustibles fósiles que hoy en día las empresas hidrocarburíferas consideran activos; son los llamados activos tóxicos, pues no pueden ser explotados para mantener el clima bajo control. Dada la relación entre PIB y consumo de energía, esta investigación presenta una metodología de cálculo y resultados para encontrar umbrales de ingreso per cápita más allá de los cuales se sobrepondría el umbral de temperatura, por lo que esos niveles de ingreso podrían ser considerados como “ingreso tóxico”. La investigación encuentra que en el período 2032-2043 se alcanzaría el rango de ingresos de 10,745-14,155 USD per cápita (dólares constantes de 2000) a partir del cual la estabilidad climática estaría en peligro.

Palabras Clave

Cambio climático, CO₂, ingreso tóxico

Códigos JEL

Q43, Q54, Q57

1. Introducción

Solo una aproximación integral (económica, social y ambiental) puede salvar a la Humanidad de uno de los mayores desastres ecológicos de los últimos milenios como es el calentamiento global y el cambio climático.

Existe un cierto consenso científico acerca de los niveles de calentamiento que pueden ser críticos para la estabilidad del clima en la Tierra. La elevación presente de la temperatura global promedio, debida al efecto invernadero causado por las emisiones de gases, no debería exceder los 2°C sobre la temperatura global promedio de la era preindustrial. Como indican (Rogelj et al., 2011) la cifra de los 2°C fue acordada en la Conferencia de las Partes de la Convención Marco de Cambio Climático (COP) 16, celebrada en Cancún en 2010. Este objetivo político se basó en investigaciones como las de (den Elzen and Meinshausen, 2006; Meinshausen et al., 2009) quienes realizaron los primeros cálculos estimativos de las reducciones necesarias. Este umbral, sin embargo, ha sido sujeto a muchas críticas y revisiones, incluso por los mismos autores que nos avanzaron tales cifras. Así, por ejemplo, (Rogelj et al., 2011, 2009) cuantificaron la reducción necesaria para lograr ese objetivo en un 25-40% respecto a las emisiones de 1990 para 2020 y en un 50-80% para 2050, lo cual ellos mismos califican de no muy probable.

Los científicos estiman el umbral crítico de concentración de CO₂ en la atmósfera entre 450 y 500 partes por millón de CO₂¹ (den Elzen and Meinshausen, 2006). Por encima de estos niveles, los impactos sobre el clima mundial serían irreversibles.

El nivel de emisiones, y por lo tanto su concentración en la atmósfera, dependen del consumo energético, en su mayoría conformado por combustibles fósiles. Dado que el consumo de energía está fuertemente relacionado con el crecimiento económico y el nivel del PIB (como muestran por ejemplo (Cleveland et al., 2000, 1984; Csereklyei and Stern, 2015; Stern, 2000), se podría decir que si existe un nivel máximo de concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera que evitaría alcanzar el aumento de temperatura de 2°C, también habría un nivel de ingreso crítico a partir del cual se produciría tal aumento. Cualquier nivel de ingreso que superase ese umbral podría ser considerado un “ingreso tóxico”.

La economía convencional señala que el objetivo de política económica debe ser el incremento del ingreso. Por ejemplo bajo el axioma de no saturación de las preferencias, se asume que más es mejor; pero esto no necesariamente es cierto, debido a los crecientes impactos ambientales asociados a mayores niveles de consumo, como por ejemplo las emisiones de CO₂. Para definir qué es ingreso tóxico en economía, es necesario explicar su origen.

Entre los activos de las empresas petroleras, según sus normas de contabilidad, las reservas petroleras del subsuelo se valoran a precios de mercado. Esto incrementa los activos totales: mientras más reservas petroleras tenga, más rica sería una empresa. ¿Pero qué ocurriría si se extraen y queman todas esas reservas de petróleo?

McGlade y Ekins (McGlade and Ekins, 2015) publicaron una de las respuestas más claras y actualizadas al respecto. He aquí su argumentación que utiliza cifras más bien optimistas. Mantener el aumento de la temperatura por debajo de 2°C implica que un tercio de las actuales reservas de petróleo, la mitad de las reservas de gas y el 82% de las actuales reservas de carbón tendrían que permanecer en el subsuelo hasta 2050 para evitar el alza de 2°C. “La implicación de esta investigación es que las empresas petroleras cargan de por sí unos activos tóxicos contables, y por ende los balances financieros están cuestionados” (Falconí, 2014).

La idea de “activos tóxicos”, por lo tanto, puede ampliarse a lo que podríamos llamar “ingreso tóxico”: el nivel de ingreso que nos conduce a los niveles críticos de concentración de CO₂.

¹ ppm (partes por millón) es la ratio entre el número de moléculas de un gas y el número de moléculas del aire seco (Stocker et al., 2013).

Nuestra idea se nutre del llamado enfoque de “contracción y convergencia” (C&C), que fue introducido en 1996 por Aubrey Meyer del Global Commons Institute del Reino Unido (Bows and Anderson, 2008; Meyer, 2004, 2000). La idea subyacente del enfoque era que se podía considerar a la atmósfera como un bien común global a la que cada individuo del planeta tendría el mismo derecho de acceso. Esto conllevaría un mismo derecho de emisiones. Bajo este enfoque, las emisiones globales se deberían distribuir entre todos los países de manera igualitaria en términos per cápita, dependiendo de cuál era el nivel mundial promedio en un año base determinado, como por ejemplo el año 2000. Se establecería un año objetivo, en este caso el año 2050, en el cual las emisiones de todos los países deberían ser iguales en términos per cápita. De ahí la contracción de aquellos que tenían niveles de emisiones por encima de la media del año base, y la convergencia a un valor per cápita igual en el año final. La iniciativa ha pasado a formar parte del Carbon Budget Accounting Tool².

El enfoque de C&C ha sido ampliamente utilizado en la literatura de cambio climático, especialmente entre aquellos que defendían derechos igualitarios a las emisiones de CO₂ entre los países o entre quienes han propuesto trayectorias de emisiones para evitar sobrepasar los 2°C de aumento de temperatura. Así, por ejemplo (Persson et al., 2006) lo aplican en un ejercicio de escenarios de emisiones para países en desarrollo. Por otro lado, (Böhringer and Welsch, 2004) analizan un modelo de emisiones globales con regiones de países. A nivel nacional, (Anderson et al., 2008) muestran trayectorias de emisiones para el caso del Reino Unido. Con algo más de detalle, (Tight et al., 2005) lo aplican para el caso concreto del sector del transporte en Reino Unido. Por su parte, (Yang et al., 2014) lo utilizan para el análisis de China con el fin de evitar sobrepasar el nivel de 2°C de aumento de la temperatura.

El resto del artículo presenta una metodología de cálculo de ese nivel de ingreso tóxico que se derivaría de los niveles máximos de emisiones de CO₂ para mantener la concentración de gases de efecto invernadero bajo un rango aceptable y que no provocase un aumento de la temperatura de más de 2°C. El artículo realiza una serie de proyecciones para estimar el año en el que se lograría llegar a ese umbral máximo de ingreso per cápita, lo cual permite hablar de escenarios de contracción y convergencia en los niveles de ingreso futuros. Es decir, permitiría en un futuro, en una lógica de “contracción y convergencia”, establecer escenarios de convergencia de los niveles de ingreso per cápita individuales de los diferentes países al rango de valores que no sobrepasaría el umbral crítico encontrado aquí.

2. Metodología

Los datos utilizados en este artículo están tomados de la base de datos “World Development Indicators” (WDI) de Banco Mundial (World Bank, 2015), periodo 1961-2011 (51 años), para 187 países con información válida del año 2011. Se trabaja con las series de: población, consumo de energía per cápita y total, emisiones de CO₂ per cápita y total, y crecimiento del PIB real. Para cada país, la serie del PIB real en dólares constantes de 2005 fue calculada aplicando la tasa de crecimiento del PIB real, hacia atrás y hacia adelante, al PIB corriente de 2005³. El PIB real per cápita se obtuvo del PIB real y de la población total.

Por su nivel de ingreso, los países se agruparon en 4 grupos: ingreso bajo, ingreso medio (bajo y alto) e ingreso alto, de acuerdo a la clasificación del Banco Mundial.

² <http://cbat.info>

³ De aquí en adelante cuando se hable del PIB real o del PIB real per cápita las unidades monetarias serán dólares constantes de 2005 (USD 2005).

Los siguientes cuadros resumen la información:

Tabla 1: Población

Grupo de ingreso	Número de países	Población			
		Año 2014		Periodo 2005-2014	
		Total (millones)	Participación porcentual	Tasa de crecimiento anual	Variación de la tasa de crecimiento
Bajo	31	622	8.6 %	2.7 %	-0,005
Medio bajo	51	2,879	39.7 %	1.6 %	-0,016
Medio alto	53	2,3618	32.5 %	0.8 %	-0,007
Alto	80	1,399	19.3 %	0.6 %	-0,001
Total	215	7,261	100.0 %	1.2 %	-0,006

Fuente: (World Bank, 2015).

Tabla 2: PIB

Grupo de ingreso	Producto Interno Bruto		
	Año 2014		Crecimiento anual 2005-2014
	Total (10 ⁹ US\$)	Participación porcentual	
Bajo	397	0.5 %	3.3 %
Medio bajo	5,780	7.4 %	4.4 %
Medio alto	18,808	24.2 %	5.3 %
Alto	52,907	67.9 %	0.8 %
Total	77,869	100 %	1.2 %

Fuente: (World Bank, 2015).

Tabla 3: Emisiones de CO₂

Grupo de ingreso	Emisiones de CO ₂			
	Año 2011			Crecimiento anual 2002-2011
	Total (millones de ton)	Participación porcentual	Emisiones per cápita (ton)	
Bajo	155	0.4 %	0.3	2.2 %
Medio bajo	4,153	12.0 %	1.5	4.6 %
Medio alto	13,166	38.0 %	5.7	7.4 %
Alto	15,234	44.0 %	11.1	0.2 %
Total	34,649	100 %	4.9	3.2 %

Fuente: (World Bank, 2015).

Tabla 4: Consumo de energía primaria

Grupo de ingreso	Energía				
	Año 2012				
	Total (millones de TEP ¹)	Participación porcentual	Consumo per cápita (TEP)	Intensidad energética (TEP/ \$1000 USD2005)	Brecha ²
Bajo	150	1.2 %	0.25	0.73	4.80
Medio bajo	1,807	14.1 %	0.65	0.57	3.76
Medio alto	4,536	35.4 %	1.95	0.46	3.05
Alto	6,327	49.4 %	4.68	0.15	1
Total	12,820	100.0 %	1.90	0.23	

Notas: 1) Toneladas Equivalentes de Petróleo; 2) La Brecha mide la distancia respecto al grupo de países de ingreso alto que muestran una menor intensidad energética.

Fuente: (World Bank, 2015).

Para estimar la relación entre el PIB real per cápita y las emisiones per cápita de CO₂, se aplicó el siguiente modelo econométrico de regresión por tramos: en el primer intervalo los datos se ajustan a una función cuadrática, en el segundo, a una función lineal:

$$CO2_{it} = \beta_0 + \beta_1 y_{it|y_0} + \beta_2 y_{it|y_0}^2 + \beta_3 (y_{it} - y_0)_+ + \sum_{j=1}^{n-1} \delta_{j, it} + \varepsilon_{it}$$

donde:

i: es el índice de país

t: es el índice de tiempo

*y*₀: es el punto de retorno de la curva de CO₂

$$y_{it|y_0} = \min(y_{it}, y_0) = \begin{cases} y_{it} & \text{si } y_{it} \leq y_0 \\ y_0 & \text{si } y_{it} > y_0 \end{cases}$$

$$(y_{it} - y_0)_+ = \max(y_{it} - y_0, 0) = \begin{cases} 0 & \text{si } y_{it} \leq y_0 \\ y_{it} & \text{si } y_{it} > y_0 \end{cases}$$

$$\delta_{j, it} = \begin{cases} 1 & \text{si } j = i \\ 0 & \text{caso contrario} \end{cases} \quad (\text{Variable dicotómica por país})$$

En la ecuación econométrica consideramos únicamente aquellos países con al menos 20 años de información válida (164 países que representan el 96.4% de la población y el 91.9% de las emisiones de CO₂). Asumimos que períodos más cortos agregan “ruido” en lugar de información relevante. En el anexo 1, se presenta la tabla con el detalle de la información utilizada.

Los resultados de los parámetros estimados y el gráfico de la regresión son:

Tabla 5: Resultados de los parámetros estimados

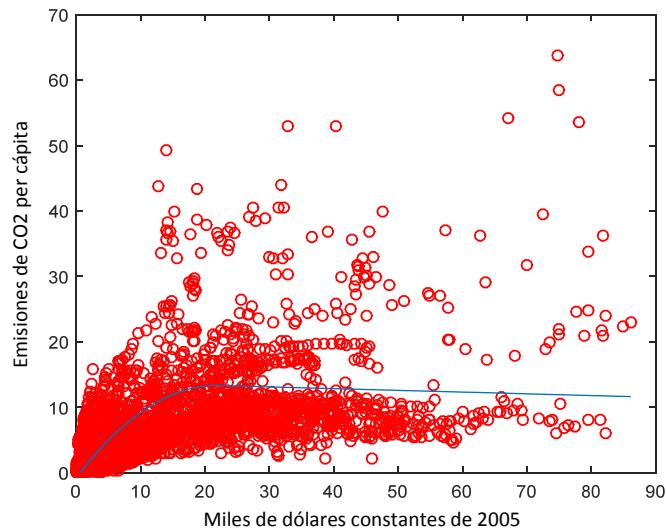
R2	b0	b1	b2	b3	Y0
0.982	0.425 (2.00)	1.292 (79.16)	-0.030 (-51.25)	-0.027 (-6.84)	22.258

Número de países: 164.

Número de datos: 6.810.

Valores t entre paréntesis.

Figura 1: Emisiones de CO₂ per cápita vs PIB per cápita



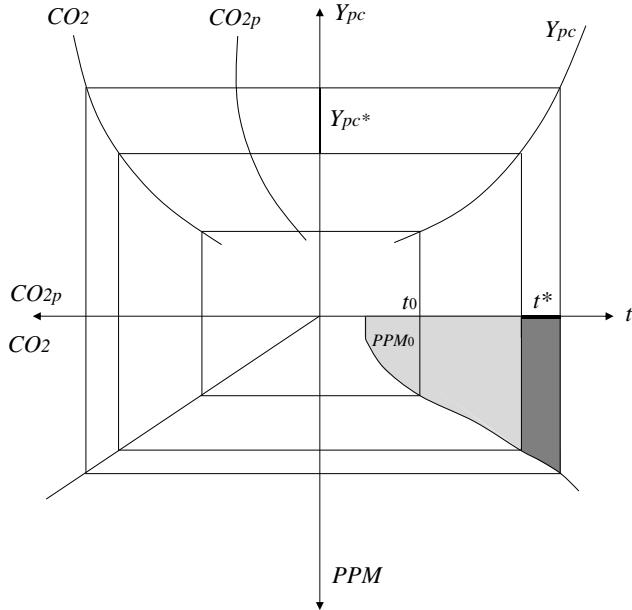
Fuente: Ecuación econométrica

La ecuación econométrica presenta una ‘forma débil’ de la curva ambiental de Kuznets (CAK) (para una buena revisión sobre la CAK véase (Stern, 2004)). La CAK tradicional establece una relación empírica en forma de U invertida entre el ingreso y la generación de contaminantes. En teoría, un mayor ingreso económico provoca primero un aumento del impacto ambiental, y luego un decrecimiento. El pico de la U invertida es el punto de inversión de la contaminación. En la ‘forma débil’ de la curva ambiental de Kuznets, a partir del punto de inversión la emisión de contaminantes se estabiliza en vez de reducirse como lo muestra la figura 1.

En nuestro caso, a partir del PIB per cápita $Y_0 = \$22,258$ (USD 2005) cuando el ingreso aumenta en \$1,000 (USD 2005), las emisiones per cápita se reducen en 26,5 Kg de CO₂. Dicho de otro modo, para que las emisiones per cápita se reduzcan en 1 tonelada de CO₂, el PIB per cápita debe aumentar en \$37,755 (USD 2005).

El esquema de la estimación del ingreso tóxico se describe con la ayuda de la siguiente figura:

Figura 2: Ingreso tóxico



La parte positiva del eje x mide el tiempo; la negativa, las emisiones de CO_2 per cápita y total. La parte positiva del eje y mide el PIB per cápita; la negativa, las emisiones totales de CO_2 expresadas en partes por millón (PPM).

Conforme avanza el tiempo (de t_0 en adelante), el ingreso per cápita (el PIB per cápita) se incrementa, lo que determina la curva Y_{pc} . La ecuación econométrica, representada gráficamente por la curva CO_{2pc} , establece el valor del CO_{2pc} en función del ingreso per cápita y , multiplicando este valor por la población, obtenemos el CO_2 total (curva CO_2). Asumimos que el 55% de las emisiones son absorbidas por la biosfera (mares y vegetación) y que el 45% permanece en la atmósfera (NASA, 2015) y transformamos este flujo de CO_2 remanente aplicando el factor de transformación respectivo (7.8 Gigatoneladas de $\text{CO}_2 \approx 1$ PPM) (CDIAC, 2015). Las emisiones de CO_2 remanentes expresadas en PPM se acumulan año a año, lo que gráficamente se expresa en el área sombreada en el cuarto cuadrante de la figura.

Como se indicó previamente, el umbral crítico de concentración de CO_2 en la atmósfera está entre 450 y 500 partes por millón de CO_2 ; en consecuencia, definimos el umbral temporal crítico $t^* = [t_1, t_2]$ donde:

$$PPM_0 + \int_{t_0}^{t_1} PPM(t)dt = 450, \quad PPM_0 + \int_{t_0}^{t_2} PPM(t)dt = 500$$

Y el ingreso per cápita crítico o ingreso tóxico por $Y_{pc}^* = [Y_1, Y_2]$ donde:

$$Y_1 = Y_{pc}(t_1), \quad Y_2 = Y_{pc}(t_2)$$

Nótese que gráficamente en el esquema, a cada instante del tiempo le corresponde un ingreso real per cápita (PIB real per cápita); esto es una simplificación. En el modelo de simulación

en cada año t hay 164 PIBs reales per cápita correspondiente a los 164 países incluidos en la regresión econométrica. Al aplicar el modelo econométrico, se obtienen 164 datos proyectados de las emisiones de CO₂ per cápita; con el dato proyectado de la población de cada país, se obtienen las emisiones totales de CO₂ por país, las que se agregan en un total global y se transforman a PPM.

Así, el modelo deja en evidencia los factores que afectan el resultado: la distribución mundial del ingreso (el PIB real per cápita de cada país), el crecimiento económico, la relación entre el ingreso real per cápita y las emisiones de CO₂ per cápita (que depende de la estructura productiva, fuentes de energía, tecnología y niveles de consumo), la población total y el crecimiento poblacional, los sumideros de CO₂ (bosques y mares).

En consecuencia, la estimación del ingreso tóxico $Y_{pc}^* = [Y_1, Y_2]$ y del umbral temporal crítico $t^* = [t_1, t_2]$ varía según los parámetros y supuestos del modelo de simulación.

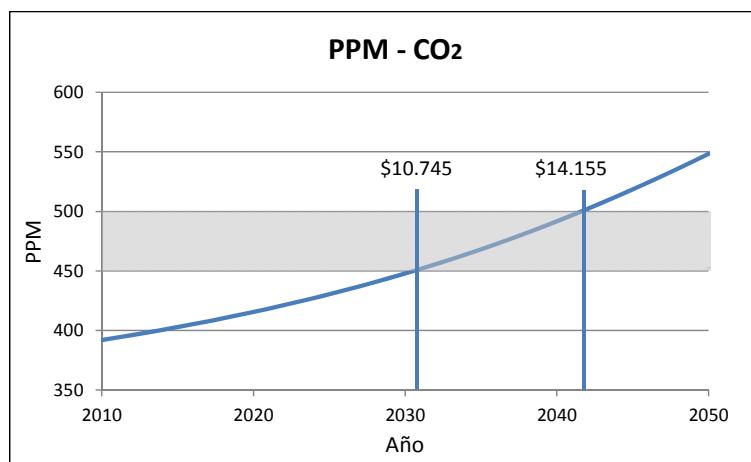
En todo caso, la definición más adecuada sería aquella que asume que las condiciones actuales se van a mantener en el futuro; es el denominado “escenario tendencial” o “escenario inercial” o “alternativa BaU (Business as Usual)”.

3. Resultados y discusión

Para calcular el periodo crítico y el ingreso tóxico en el escenario tendencial, tomamos un periodo de simulación 60 años, a partir del año base 2011. Partimos de las tasas históricas de crecimiento poblacional y crecimiento económico de los países de bajo, medio (bajo y alto) y alto ingreso (Tablas 1 y 2) y consideramos el supuesto adicional de que la tasa de crecimiento poblacional de un grupo de ingreso converge a la tasa del grupo inmediatamente superior (ajustamos la variación de la tasa de crecimiento poblacional).

Bajo estos supuestos (Escenario 1), los resultados son que el intervalo crítico es $t^* = [2032 - 2043]$; esto es entre unos 17 a 28 años, la concentración de CO₂ en la atmósfera habría alcanzado el umbral crítico de 450 - 500 PPM-CO₂; el intervalo del ingreso tóxico sería $Y_{pc}^* = [\$/10,745 - \$/14,155]$ (USD 2005). Esta situación se representa en la figura siguiente:

Figura 3: Ingreso tóxico



Fuente: Modelo de simulación.

Elaboración: Autores.

Siguiendo con estas simulaciones, para mostrar la interrelación entre economía y ambiente, analizamos tres casos hipotéticos más: E2) si las economías del mundo no crecen más y se mantiene el crecimiento poblacional y los niveles actuales de emisiones de CO₂ per cápita; E3) se mantiene el crecimiento económico, pero se produce transferencia de tecnología de los países ricos hacia los países de ingresos medios y bajos (hacemos el supuesto simple de que las brechas de eficiencia de los procesos productivos, medida por el inverso del consumo de energía por unidad de PIB, se reduce a la mitad en 20 años y en otros 20 años se alcanza la eficiencia de los países del grupo de ingreso alto). E4) No hay crecimiento poblacional.

Tabla 6: Escenarios de simulación

Escenarios	Crecimiento poblacional	Crecimiento del PIB pc	Transferencia de tecnología
E1	Tendencial*	Tendencial	No
E2	Tendencial*	0	No
E3	Tendencial*	Tendencial	Si
E4	0	Tendencial	No

* La tasa de crecimiento poblacional de un grupo de ingreso converge a la tasa del grupo inmediatamente superior.

Los resultados muestran que en los escenarios sin crecimiento económico, transferencia de tecnología y sin crecimiento económico, en lo ambiental habría un mayor o un menor respiro. El inicio del periodo crítico se dilata unos pocos años (4, 2 y 1 año respectivamente), al igual que la longitud del intervalo (8, 5 y 3 años respectivamente). Ninguno de estos escenarios muestra un cambio radical con la situación inercial. Los niveles actuales de concentraciones de CO₂ han alcanzado un nivel relativamente elevado de tal manera que el margen de maniobra es bastante reducido. Nótese que en todos los escenarios, el ingreso tóxico está por debajo del punto de quiebre de la curva ambiental débil de Kuznets estimada ($Y_0 = \$22,258$); esto implica que no hacer nada y esperar a la que la CAK automáticamente resuelva los problemas no es una política que se pueda seguir. Es necesario actuar fuerte e inmediatamente.

Tabla 7: Resultados escenarios de concentraciones de CO₂

Escenarios	t^*	Y_{pc}^* (USD 2005)
E1	2032 - 2043	[\$10.7 - \$14.2]
E2	2036 - 2055	[\$6.9 - \$6.4]
E3	2034 - 2050	[\$11.2 - \$17.4]
E4	2033 - 2047	[\$11.9 - \$17.8]

Figura 4: Periodo crítico

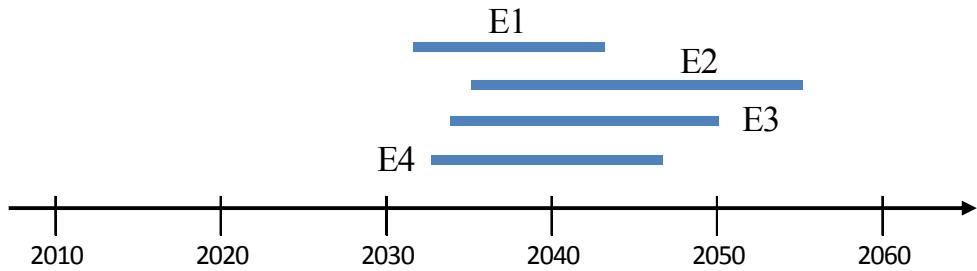
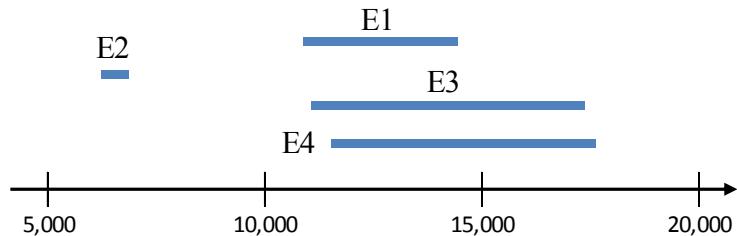


Figura 5: Ingreso tóxico

(USD 2005)



Los efectos del cambio climático han alcanzado niveles apreciables en la vida diaria. De mantenerse la situación actual en un plazo corto, menos de 20 años, alcanzaremos el límite inferior de las concentraciones críticas. Lo más conveniente es combinar la mejora de la eficiencia de los procesos productivos con la moderación en el consumo y en el crecimiento poblacional y la reducción del crecimiento económico. Tal reducción del crecimiento se enmarca en lo que Tim Jackson (Jackson, 2011) denomina “prosperidad sin crecimiento” para el primer mundo: reorientación productiva de las economías desarrolladas a sectores que generen menos presión ambiental. Los países de ingreso medio y especialmente los de ingreso bajo todavía necesitan mejorar sus niveles de PIB per cápita, para garantizar niveles de vida dignos para sus habitantes. De alguna manera, estaríamos hablando de que los países ricos deberían introducirse en una senda de *decrecimiento* (D'Alisa et al., 2014) que permitiese a los países que todavía tienen niveles inferiores de ingreso per cápita, crecer sin comprometer el aumento de temperatura.

La medida más común del crecimiento económico es el producto interno bruto (PIB). No obstante, el PIB no dice nada del daño ecológico causado por ese mismo crecimiento.

Las responsabilidades globales del denominado primer mundo no solo deben evitar que aumenten las emisiones propias de CO₂ y mitigar los impactos ambientales, sino también deben orientarse hacia la reducción de las emisiones de CO₂ de los “otros países”, en particular de los países pobres y a mejorar las condiciones de vida de tales países. Esto sólo será posible mediante la cooperación científica y tecnológica, y la transferencia de tecnología del norte al sur. Es lo mínimo que se puede exigir como contrapartida de las

responsabilidades históricas de los países ricos en la acumulación histórica de CO₂ en la atmósfera de nuestro único planeta.

4. Conclusiones

La investigación muestra que, de mantenerse las tendencias de crecimiento poblacional, ingreso y emisiones per cápita, en el periodo 2032-2043 se habría sobrepasado el umbral crítico de ingreso de $Y_{pc}^* = [\$10,745 - \$14,155]$ (USD 2005). Esto implica que los ingresos por encima de ese valor pueden considerarse ingresos tóxicos, pues conllevarían unos niveles de emisiones de CO₂ y una concentración en la atmósfera por encima de las 450-500 ppm, que irremediablemente harían que el aumento medio de temperatura fuese superior a los 2°C antes.

En este sentido, los compromisos internacionales de lucha contra el cambio climático deberían recoger las propuestas mencionadas de “contracción y convergencia” y aplicarlas no solo a las emisiones de CO₂ como se habían propuesto en el pasado, sino a los propios niveles de ingreso de los países. La contracción se debería dar en aquellos países con niveles de ingresos superiores al umbral crítico, lo que permitiría que países con niveles de ingreso inferiores pudiesen converger hacia ese valor del umbral crítico que evitaría la subida de temperatura crítica.

Como se puede observar, las consecuencias no redundarían solo en términos de política energética o climática, sino en unos niveles de igualdad en la distribución mundial del ingreso que serían altamente deseables. Queda pendiente en nuestra futura investigación, la descripción de los escenarios de convergencia para los diferentes países.

Agradecimientos

Jesús Ramos-Martin agradece el apoyo de los proyectos “Centro de Prospectiva Estratégica, CUP00101819” de la República del Ecuador y HAR2013-47182-C2-1-P del Ministerio de Ciencia e Innovación de España.

Referencias

- Anderson, K., Bows, A., Mander, S., 2008. From long-term targets to cumulative emission pathways: Reframing UK climate policy. *Energy Policy* 36, 3714–3722.
doi:10.1016/j.enpol.2008.07.003
- Böhringer, C., Welsch, H., 2004. Contraction and Convergence of carbon emissions: an intertemporal multi-region CGE analysis. *J. Policy Model.* 26, 21–39.
doi:10.1016/j.jpolmod.2003.11.004
- Bows, A., Anderson, K., 2008. Contraction and convergence: an assessment of the CCOptons model. *Clim. Change* 91, 275–290. doi:10.1007/s10584-008-9468-z
- CDIAC, 2015. Frequently asked global change questions [WWW Document]. URL <http://cdiac.ornl.gov/pns/faq.html> (accessed 6.10.15).
- Cleveland, C.J., Costanza, R., Hall, C.A.S., Kaufmann, R., 1984. Energy and the United

- States economy: A biophysical perspective. *Science* (80-). 225, 890–897.
- Cleveland, C.J., Kaufmann, R.K., Stern, D.I., 2000. Aggregation and the role of energy in the economy. *Ecol. Econ.* 32, 301–317. doi:10.1016/S0921-8009(99)00113-5
- Csereklyei, Z., Stern, D.I., 2015. Global Energy Use: Decoupling or Convergence? *Energy Econ.* doi:10.1016/j.eneco.2015.08.029
- D'Alisa, G., Demaria, F., Kallis, G. (Eds.), 2014. *Degrowth: A Vocabulary for a New Era*. Routledge, London.
- den Elzen, M., Meinshausen, M., 2006. Meeting the EU 2°C climate target: global and regional emission implications. *Clim. Policy* 6, 545–564. doi:10.1080/14693062.2006.9685620
- Falconí, F., 2014. Cambio climático y activos tóxicos [WWW Document]. ALAI. URL <http://www.alainet.org/es/active/77311> (accessed 9.14.15).
- Jackson, T., 2011. *Prosperity without Growth: Economics for a Finite Planet*. Routledge, London.
- McGlade, C., Ekins, P., 2015. The geographical distribution of fossil fuels unused when limiting global warming to 2 °C. *Nature* 517, 187–190. doi:10.1038/nature14016
- Meinshausen, M., Meinshausen, N., Hare, W., Raper, S.C.B., Frieler, K., Knutti, R., Frame, D.J., Allen, M.R., 2009. Greenhouse-gas emission targets for limiting global warming to 2 degrees C. *Nature* 458, 1158–1162. doi:10.1038/nature08017
- Meyer, A., 2004. Contraction and Convergence. *Eng. Sustain.* 157, 3. doi:10.1680/ensu.157.4.189.56900
- Meyer, A., 2000. *Contraction & Convergence—The Global Solution to Climate Change*. Green Books, Devon.
- NASA, 2015. Effects of changing the carbon cycle [WWW Document]. URL <http://earthobservatory.nasa.gov/Features/CarbonCycle/page5.php> (accessed 6.10.15).
- Persson, T. a., Azar, C., Lindgren, K., 2006. Allocation of CO2 emission permits—Economic incentives for emission reductions in developing countries. *Energy Policy* 34, 1889–1899. doi:10.1016/j.enpol.2005.02.001
- Rogelj, J., Hare, B., Nabel, J., Macey, K., Schaeffer, M., Markmann, K., Meinshausen, M., 2009. Halfway to Copenhagen, no way to 2 °C. *Nat. Reports Clim. Chang.* 3, 81–83. doi:10.1038/climate.2009.57
- Rogelj, J., Hare, W., Lowe, J., van Vuuren, D.P., Riahi, K., Matthews, B., Hanaoka, T., Jiang, K., Meinshausen, M., 2011. Emission pathways consistent with a 2 °C global temperature limit. *Nat. Clim. Chang.* 1, 413–418. doi:10.1038/nclimate1258
- Stern, D.I., 2004. Environmental Kuznets Curve. *Encycl. Energy* 2, 517–525.

- Stern, D.I., 2000. A multivariate cointegration analysis of the role of energy in the US macroeconomy. *Energy Econ.* 22, 267–283. doi:10.1016/S0140-9883(99)00028-6
- Stocker, T.F., Qin, D., Plattner, G.-K., Tignor, M., Allen, S.K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V., Midgley, P.M. (Eds.), 2013. *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Tight, M.R., Bristow, a. L., Pridmore, a., May, a. D., 2005. What is a sustainable level of CO₂ emissions from transport activity in the UK in 2050? *Transp. Policy* 12, 235–244. doi:10.1016/j.tranpol.2005.02.002
- World Bank, 2015. World Development Indicators [WWW Document]. URL <http://data.worldbank.org/data-catalog/world-development-indicators> (accessed 7.2.15).
- Yang, X., Teng, F., Wang, G., 2014. The Role of China in 2 Degree World: The Needs for Change in Energy System Planning. *Energy Procedia* 61, 419–422. doi:10.1016/j.egypro.2014.11.1139

Anexo 1: Países en la regresión econométrica

Países de ingreso bajo

N	País	Período	Número de datos
1	Burundi	1962 - 2011	50
2	Benín	1961 - 2011	51
3	Burkina Faso	1961 - 2011	51
4	República Central Africana	1961 - 2011	51
5	Comoros	1980 - 2011	32
6	Etiopía	1981 - 2011	31
7	Guinea	1986 - 2011	26
8	Gambia	1966 - 2011	46
9	Guinea-Bissau	1970 - 2011	42
10	Liberia	1961 - 2011	51
11	Madagascar	1961 - 2011	51
12	Mali	1967 - 2011	45
13	Mozambique	1980 - 2011	32
14	Malawi	1964 - 2011	48
15	Níger	1961 - 2011	51
16	Nepal	1961 - 2011	51
17	Ruanda	1961 - 2011	51
18	Sierra Leone	1961 - 2011	51
19	Chad	1961 - 2011	51
20	Togo	1961 - 2011	51
21	Tanzania	1988 - 2011	24
22	Uganda	1982 - 2011	30
23	Rep. Dem. del Congo	1961 - 2011	51
24	Zimbabue	1964 - 2011	48

Países de ingreso medio bajo

N	País	Período	Número de datos
25	Armenia	1992 - 2011	20
26	Bangladesh	1972 - 2011	40
27	Bolivia	1961 - 2011	51
28	Bután	1980 - 2011	32
29	Costa de Marfil	1961 - 2011	51
30	Camerún	1961 - 2011	51
31	Congo, Rep.	1961 - 2011	51
32	Cabo Verde	1980 - 2011	32
33	Djibouti	1990 - 2011	22
34	Rep. Arab. de Egipto	1965 - 2011	47
35	Georgia	1992 - 2011	20
36	Ghana	1961 - 2011	51
37	Guatemala	1961 - 2011	51

38	Guyana	1961 - 2011	51
39	Honduras	1961 - 2011	51
40	Indonesia	1961 - 2011	51
41	India	1961 - 2011	51
42	Kenia	1961 - 2011	51
43	Kirguiza	1992 - 2011	20
44	Kiribati	1970 - 2011	42
45	Laos	1984 - 2011	28
46	Sri Lanka	1961 - 2011	51
47	Marruecos	1966 - 2011	46
48	Moldavia	1992 - 2011	20
49	Mauritania	1961 - 2011	51
50	Nigeria	1961 - 2011	51
51	Nicaragua	1961 - 2011	51
52	Pakistán	1961 - 2011	51
53	Filipinas	1961 - 2011	51
54	Papúa New Guinea	1961 - 2011	51
55	Sudán	1961 - 2011	51
56	Senegal	1969 - 2011	43
57	Islas Salomón	1990 - 2011	22
58	El Salvador	1965 - 2011	47
59	Suazilandia	1970 - 2011	42
60	Tayikistán	1992 - 2011	20
61	Ucrania	1992 - 2011	20
62	Uzbekistán	1992 - 2011	20
63	Vietnam	1984 - 2011	28
64	Vanuatu	1979 - 2011	33
65	Samoa	1982 - 2011	30
66	Yemen	1990 - 2011	22
67	Zambia	1964 - 2011	48

Países de ingreso medio alto

N	País	Período	Número de datos
68	Angola	1985 - 2011	27
69	Albania	1980 - 2011	32
70	Azerbaiyán	1992 - 2011	20
71	Bulgaria	1980 - 2011	32
72	Belarús	1992 - 2011	20
73	Belice	1961 - 2011	51
74	Brasil	1961 - 2011	51
75	Botsuana	1972 - 2011	40
76	China	1961 - 2011	51
77	Colombia	1961 - 2011	51
78	Costa Rica	1961 - 2011	51
79	Cuba	1970 - 2011	42

80	Dominica	1977 - 2011	35
81	República Dominicana	1961 - 2011	51
82	Algeria	1961 - 2011	51
83	Ecuador	1961 - 2011	51
84	Fiji	1961 - 2011	51
85	Gabón	1961 - 2011	51
86	Granada	1977 - 2011	35
87	Rep. Islámica del Irán	1965 - 2011	47
88	Iraq	1968 - 2011	44
89	Jordania	1975 - 2011	37
90	Kazakstán	1992 - 2011	20
91	Lebanon	1988 - 2011	24
92	St. Lucia	1980 - 2011	32
93	México	1961 - 2011	51
94	Islas Marshall	1990 - 2011	22
95	Macedonia	1992 - 2011	20
96	Mongolia	1981 - 2011	31
97	Mauricio	1976 - 2011	36
98	Malaysia	1970 - 2011	42
99	Namibia	1990 - 2011	22
100	Panamá	1961 - 2011	51
101	Perú	1961 - 2011	51
102	Palao	1991 - 2011	21
103	Paraguay	1961 - 2011	51
104	Romania	1980 - 2011	32
105	Surinam	1975 - 2011	37
106	Tailandia	1965 - 2011	47
107	Turkmenistán	1992 - 2011	20
108	Tonga	1981 - 2011	31
109	Tunes	1965 - 2011	47
110	Turquía	1961 - 2011	51
111	San Vicente y las Granadinas	1961 - 2011	51
112	Sudáfrica	1961 - 2011	51

Países de ingreso alto

N	País	Período	Número de datos
113	Emiratos Árabes Unidos	1975 - 2011	37
114	Argentina	1961 - 2011	51
115	Antigua y Barbuda	1977 - 2011	35
116	Australia	1961 - 2011	51
117	Austria	1961 - 2011	51
118	Bélgica	1961 - 2011	51
119	Bahréin	1980 - 2011	32
120	Bahamas	1961 - 2011	51
121	Bermuda	1961 - 2011	51

122	Barbados	1961 - 2011	51
123	Brunei Darussalam	1974 - 2011	38
124	Canadá	1961 - 2011	51
125	Suiza	1980 - 2011	32
126	Chile	1961 - 2011	51
127	Chipre	1975 - 2011	37
128	República Checa	1992 - 2011	20
129	Alemania	1991 - 2011	21
130	Dinamarca	1961 - 2011	51
131	España	1961 - 2011	51
132	Finlandia	1961 - 2011	51
133	Francia	1961 - 2011	51
134	Reino Unido	1961 - 2011	51
135	Guinea Ecuatorial	1980 - 2011	32
136	Grecia	1961 - 2011	51
137	Hong Kong	1965 - 2011	47
138	Hungría	1991 - 2011	21
139	Irlanda	1970 - 2011	42
140	Islandia	1961 - 2011	51
141	Israel	1961 - 2011	51
142	Italia	1961 - 2011	51
143	Japón	1961 - 2011	51
144	San Kits y Nevis	1977 - 2011	35
145	Corea	1961 - 2011	51
146	Luxemburgo	1961 - 2011	51
147	Macao	1982 - 2011	30
148	Malta	1970 - 2011	42
149	Holanda	1961 - 2011	51
150	Noruega	1961 - 2011	51
151	Nueva Zelanda	1977 - 2011	35
152	Omán	1964 - 2011	48
153	Polonia	1990 - 2011	22
154	Portugal	1961 - 2011	51
155	Federación Rusa	1992 - 2011	20
156	Arabia Saudita	1968 - 2011	44
157	Singapur	1961 - 2011	51
158	República Eslovaca	1992 - 2011	20
159	Suecia	1961 - 2011	51
160	Seychelles	1963 - 2011	49
161	Trinidad and Tobago	1961 - 2011	51
162	Uruguay	1961 - 2011	51
163	Estados Unidos	1961 - 2011	51
164	Venezuela	1961 - 2011	51