

Influencia de la dinámica poblacional sobre las emisiones de carbono. Análisis de indicadores tecnológicos

Paula Castesana¹, Enrique Puliafito²

¹ Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires. ANPCyT Medrano 951, (C1179AAQ) Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina

² Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Mendoza. Rodriguez 273, (M5502AJE) Mendoza, Mendoza, Argentina
pacastesana@gmail.com

Recibido el 17 de Enero de 2011; aprobado el 28 de Febrero de 2011

Resumen

Actualmente, el análisis de las transiciones demográficas sobre el crecimiento económico ha cobrado relevancia en el debate sobre el cambio climático. El impacto de dichas transiciones influye directamente sobre el consumo de bienes y energía primaria y sobre las emisiones de carbono, modificando la acumulación de gases de efecto invernadero en la atmósfera. Este trabajo propone analizar las tendencias globales y regionales de los distintos factores relacionados con las emisiones antrópicas de carbono. El estudio de los resultados permitirá proponer diversas medidas para producir una estabilización o reducción efectiva de las emisiones antrópicas de CO₂.

PALABRAS CLAVE: DINÁMICA POBLACIONAL - EMISIONES DE CARBONO - INTENSIDAD DE LAS EMISIONES - INTENSIDAD ENERGÉTICA

Abstract

Currently, analysis of demographic transitions on economic growth has become relevant in the debate on climate change, given that the impact of these transitions has a direct impact on consumption of goods, primary energy and carbon emissions by changing the accumulation of greenhouse gases in the atmosphere. This paper aims to analyze global and regional trends of the different factors directly related to anthropogenic carbon emissions. The results will help to identify proper measures to produce a stabilization or effective reduction of anthropogenic CO₂ emissions.

KEYWORDS: POPULATION DYNAMICS - ANTHROPOGENIC EMISSIONS - EMISSIONS INTENSITY - ENERGY INTENSITY

Introducción

El aumento de la concentración de CO₂ en la atmósfera debido a emisiones antrópicas generadas por consumo de energía de fuentes fósiles, está incrementando el "efecto invernadero adicional" y genera entre otras probables modificaciones climáticas, cambios en la temperatura global, variación de los patrones de lluvia, aumento del nivel del mar, modificaciones en la salinización del mar, reducción de los glaciares cordilleranos y polares, huracanes de gran magnitud e incendios forestales.

El análisis de las transiciones demográficas sobre el crecimiento económico ha cobrado relevancia en el debate sobre el cambio climático, porque el impacto de dichas transiciones influye directamente sobre el consumo de bienes y energía primaria y sobre las emisiones de carbono, modificando la acumulación de gases de efecto invernadero en la atmósfera.

Durante los últimos cincuenta años, las tasas de crecimiento demográfico han disminuido en casi todos los países del mundo, observándose una reducción en las tasas de fertilidad y un aumento en la esperanza de vida al nacer. Las mejoras sociales y el cuidado de la salud han disminuido la mortalidad infantil e incrementando la longevidad, produciendo una transición demográfica y un cambio en la estructura de la población, con reducción del sector más joven, lo que se manifiesta como un envejecimiento relativo de la población. En los países más desarrollados a pesar de un aumento de la longevidad, los movimientos migratorios están enmascarando un decrecimiento de la población. Esta inmigración proviene de la población joven de los países no desarrollados. De todos modos, el proceso de envejecimiento ya se está comenzando a detectar en países en vías de desarrollo o de economías emergentes. La dinámica poblacional no solo influye en las relaciones sociales de una nación, sino que juega un papel importante en la evolución del crecimiento económico.

Las teorías del crecimiento económico han motivado numerosos estudios, desde los comienzos de la sistematización de esta ciencia¹. Entre los primeros podemos citar a Adam Smith quien propuso la división del trabajo como fuente del crecimiento.

Para Thomas Malthus, a medida que el ingreso superara un cierto umbral, decaerían las tasas de mortalidad y crecerían las tasas de natalidad, equilibrando el crecimiento económico. Sin embargo, la experiencia de los últimos 150 años es que si bien la tasa de mortalidad disminuyó a causa de una mejora en las condiciones de vida e inversión en salud, la tasa de natalidad también decreció en la mayoría de los países.

Los economistas neoclásicos propusieron que las causas del crecimiento económico estaban relacionadas con el aumento en la inversión del capital físico, ignorando su vinculación con la dinámica poblacional (Solow, 1956); sin embargo, el aumento en la inversión no alcanzaría para explicar las menores tasas de crecimiento. Por ejemplo, en los países desarrollados, en los últimos 100 años, se ha invertido en capital a una tasa mayor al 3% anual, sin embargo el crecimiento del producto bruto per cápita, promedia un crecimiento del 1.3% anual. Esta teoría tampoco explica la diferencia de crecimiento entre países desarrollados y menos desarrollados, ni su retraso en el tiempo de la transición demográfica y económica. Por ejemplo, los países asiáticos, como Japón, China e India, han iniciado su desarrollo casi 80 años más tarde que EE.UU. o los países europeos.

A fin de explicar la compleja relación entre población y crecimiento económico, más recientemente se ha incluido el capital humano como elemento clave del crecimiento. La educación, el conocimiento y las habilidades son claves en el desarrollo tecnológico e influyen positivamente en el crecimiento. En estos modelos, a medida que las sociedades incrementan su capital humano (mayor educación, mayores habilidades y conocimientos, mayor inversión en ciencia), disminuyen las tasas de fertilidad, por el alto costo que significa educar un hijo adicional. Por el contrario, las sociedades con menor capital humano tienen tasas de fertilidad mayores pero menor ingreso per cápita, lo cual podría explicar la diferencia entre el desarrollo de los países. (Becker, et al, 1990; Becker y Barro, 1988; Lucas, 1998; Galor y Weil, 1996). Otros modelos similares incluyen la producción de ideas e innovación como fuentes de crecimiento endógenos asociados al capital humano (Ramsey, 1928; Cass, 1965;

¹ Se sugiere leer la interesante discusión presentada por Becker, et al, 1990, la cual sintetizamos brevemente en el texto.

Romer, 1986; Grossman y Helpman, 1991; Kremer, 1993).

Jones (1995) demuestra que si bien el nivel de inversión en I+D influye de manera positiva en la economía mejorando el nivel de ingresos per cápita, a largo plazo, no afecta a la tasa de crecimiento del producto bruto per cápita, dado que esta es proporcional a la tasa de crecimiento de la población. Este modelo introduce la idea de que el crecimiento sostenido a largo plazo no puede mantenerse con la ausencia o estancamiento del crecimiento demográfico.

La transición demográfica de niveles altos de natalidad y mortalidad a niveles bajos de natalidad y mortalidad también ha sido estudiada en el contexto del tipo de organización social-laboral. Por ejemplo Hansen y Prescott (2002), establecen dos regímenes de crecimiento, uno rural de bajo crecimiento económico al estilo maltusiano, con tasas altas de fertilidad y mortalidad, y otro industrial-urbano de alto crecimiento económico al estilo de Solow. En el primer régimen la economía crece en base al trabajo y la tierra; en cambio en el segundo se basa en la inversión en capital físico y trabajo. Cada régimen predomina cuando se maximiza el producto per cápita, la transición del régimen agrícola al régimen industrial se produce por acumulación de capital humano (Tamura, 2002) y/o la declinación en las tasas de mortalidad infanto-juvenil, (Bar y Leukhina, 2010).

Sin embargo la reducción de la fertilidad está planteando un nuevo problema, asociado al envejecimiento de la población, lo cual produciría una reducción del capital humano. Al haber menos jóvenes, hay menos población dedicada a la creación de nuevas ideas e innovación que son claves en el crecimiento económico actual.

Tanto el crecimiento poblacional y económico, como el nivel tecnológico alcanzado, son aspectos relevantes en la determinación del consumo energético y las emisiones de dióxido de carbono provenientes del consumo de combustibles fósiles (Huang, 2007; Richmond et al., 2006). Una buena teoría sobre el acoplamiento poblacional-económico permitirá describir la dinámica demográfica, sus tiempos y su influencia sobre los patrones de desarrollo regional y mundial.

Este trabajo propone analizar las tendencias globales y regionales de los distintos factores relacionados directamente con las emisiones de carbono antrópicas. Para ello se parte de una expresión matemática conocida como Identidad de Kaya (Kaya, 1990), que relaciona de manera multiplicativa tanto a las emisiones como al consumo de energía, con la población, el GDP/cápita, y distintos indicadores como intensidad energética, eficiencia tecnológica e intensidad de las emisiones. Dicho análisis se realizó sobre los datos históricos mundiales y de diferentes países, con distintos patrones de desarrollo económico, con el fin de evaluar tendencias y así poder desagregar la influencia de factores socioeconómicos (nivel de desarrollo, tipo de industrias, grado de consumo, etc.) y tecnológicos (principalmente fuentes de energía primaria) sobre las emisiones de carbono hacia la atmósfera.

Parte experimental

Los principales factores que influyen en el consumo de energía primaria e y en las emisiones de carbono c , pueden ser expresadas en forma multiplicativa de la siguiente manera (Canadell et al., 2007; Raupach et al., 2008; Puliafito et al., 2008; Puliafito y Castesana, 2009):

$$e = p \cdot x \cdot (e/g) \quad (1)$$

Donde e es el consumo anual global de combustibles fósiles, p es la población mundial, g es el producto bruto, x es el producto bruto per cápita ($x=g/p$) y e/g es el factor de intensidad energética, es decir, cantidad de energía consumida por cada dólar del producto bruto generado. De manera análoga, las emisiones de carbono c producidas por el consumo de energía pueden ser expresadas a partir de la relación de Kaya (1990) según:

$$c = p \cdot x \cdot (c/g) = p \cdot x \cdot (e/g) \cdot (c/e) \quad (2)$$

Donde c/g representa la intensidad de las emisiones, es decir, kilogramos de dióxido de carbono (o simplemente de carbono) emitidos a la atmósfera por cada dólar del producto bruto producido. El factor c/e representa el índice de carbonización, es decir cantidad de carbón emitido por cada unidad de energía consumida.

La ventaja de este método multiplicativo queda visible al aplicar logaritmos y derivando respecto del tiempo². Entonces la variación porcentual total en el primer miembro de la igualdad se expresa como la suma de las variaciones de cada factor del segundo miembro. Así, en las expresión (1), tomado el logaritmo se tiene:

$$\ln e = \ln p + \ln x + \ln \frac{e}{g} \quad (3)$$

Luego, derivando (3) respecto del tiempo se llega a:

$$e\% = p\% + x\% + \frac{e}{g}\% \quad (4)$$

En forma análoga para las emisiones en (2):

$$\begin{aligned} \ln c &= \ln p + \ln x + \ln \frac{c}{e} + \ln \frac{e}{g} \\ c\% &= p\% + x\% + \frac{c}{e}\% + \frac{e}{g}\% \end{aligned} \quad (5)$$

Las expresiones (4) y (5) muestran que el aumento porcentual en el consumo de energía y las emisiones puede interpretarse como la suma de las variaciones porcentuales de los factores considerados.

La tasa de crecimiento de la población mundial $p\%$ se puede estimar a partir de proponer una curva de crecimiento logístico para $p(t)$. Otra forma de obtener dicha curva de crecimiento es a partir de la diferencia observada entre dos funciones particulares: la tasa (bruta) de natalidad menos la tasa (bruta) de mortalidad, las cuales también pueden ser estimadas a partir de funciones de tipo logístico (para un análisis más detallado del tema se pueden consultar los trabajos de Puliafito y Castesana, (2009) y Puliafito, (2011))

$$p\% = \frac{1}{p} \frac{dp}{dt} = n - m \quad (6)$$

De acuerdo al modelo de crecimiento "semi-endógeno" de Jones (1995), la tasa de crecimiento porcentual del GDP/cápita x , está directamente relacionada con la tasa de crecimiento de la población. De esta manera, la tasa de variación del GDP/cápita puede ser expresada de la siguiente manera:

$$x\% = \gamma \cdot p\% = \gamma(n - m) \quad (7)$$

El factor de proporcionalidad γ mide el grado de crecimiento de los ingresos en economía a

partir del balance de fertilidad, que influye en el envejecimiento de la población. Dicho factor influye de manera proporcional en el retardo observado del crecimiento económico respecto al demográfico. Otra forma de expresar la ecuación anterior es:

$$\frac{d \ln x}{dt} = \gamma \frac{d \ln p}{dt} = \gamma(n - m) \quad (8)$$

Si el factor γ es independiente de p o de t , o si presenta un grado de correlación bajo, integrando la expresión (7) se deduce que dicho factor es la pendiente de la curva generada al graficar $\ln(x)$ vs. $\ln(p)$ a partir de los datos históricos.

En la siguiente sección se presenta un análisis global y regional de los indicadores y sus variaciones relativas.

Resultados

La Fig. 1 muestra los datos históricos desde 1950 y las proyecciones de la ONU hacia el 2050 de las tasas de crecimiento porcentual de natalidad y mortalidad mundiales, en comparación con valores obtenidos por proyecciones realizadas a partir de funciones de tipo logísticas (Puliafito, 2011). Se observa que los valores de la tasa de mortalidad comienzan a decrecer antes que los de natalidad, y es por ello que el incremento en la población está dado por dicho retardo en la curva de natalidad. Se puede ver que las tasas de mortalidad y de natalidad están alcanzando un valor asintótico de 0.8-0.9% y 1.2-1.3% respectivamente. El modelo de crecimiento económico adoptado predice un aumento en la población, y un consecuente crecimiento económico, solo si $(n-m) > 0$. Sin embargo, como la brecha entre dichas tasas se está achicando, o dicho de otra manera, la diferencia $(n-m)$ es cada vez menor, el crecimiento demográfico y el económico se están desacelerando, y por lo tanto los resultados de la población y del GDP llegarán asintóticamente a un valor constante. Este fenómeno se observa claramente en los países más desarrollados, los cuales presentan altos niveles en los ingresos, pero su crecimiento poblacional se está frenando debido al gran descenso de la fertilidad de los mismos. Si bien se observa que las tasas de natalidad de casi todos los países

² La derivada del logaritmo es $\frac{d \ln p}{dt} = \frac{1}{p} \frac{dp}{dt} = p\%$

están disminuyendo, son los países menos desarrollados los que presentan en la actualidad los mayores valores de fertilidad. Se propone entonces la idea de pensar la curva de la tasa de natalidad presentada en la Fig. 1 como un "camino hacia el desarrollo". Al inicio del mismo, se encuentran valores altos en dicha tasa y con una pendiente no muy pronunciada, en un siguiente estado del camino se encuentran valores intermedios con una fuerte pendiente negativa, y en un estado final, valores bajos que tienden asintóticamente a un valor constante. Analizando los datos históricos para distintos gru-

pos de países, se encontró que en general, los datos de los países menos desarrollados se ubican en el inicio de la curva, los países en vías de desarrollo en el estado intermedio, y los países desarrollados en el tramo final. La Fig. 2 muestra los valores históricos y proyecciones de la ONU, desde 1950 hasta 2050, correspondientes a las tasas de natalidad de tres sectores con diferentes patrones de desarrollo. En la misma se ve la ubicación de cada sector respecto a dicho camino, encontrándose los sectores más desarrollados al final de la curva presentando bajos valores de fertilidad, frenando de esta manera

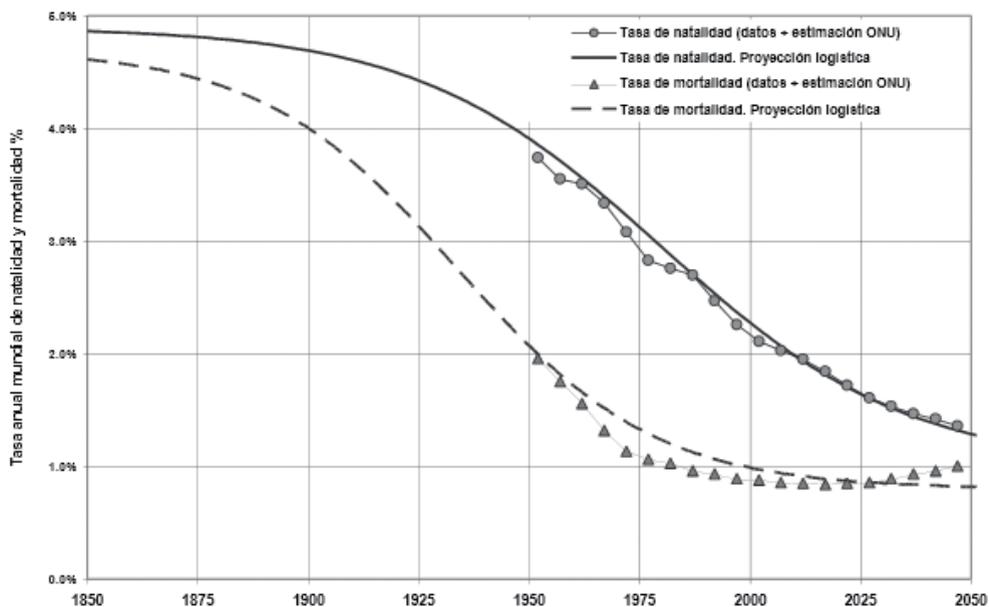


Fig. 1. Tasa anual mundial de natalidad y mortalidad (%).

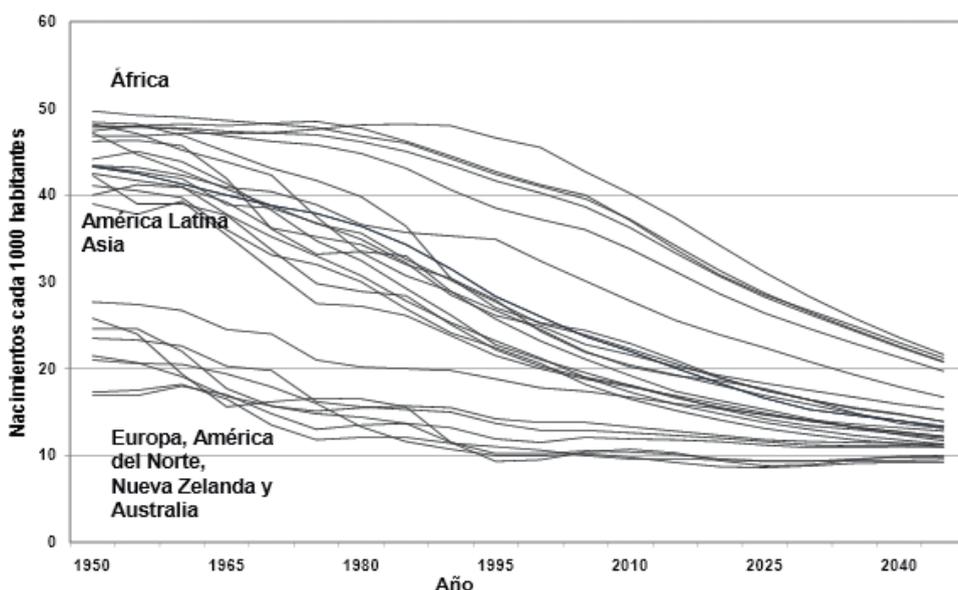


Fig. 2. Tendencia en las curvas de nacimientos por cada 1000 habitantes para distintos grupos de países.

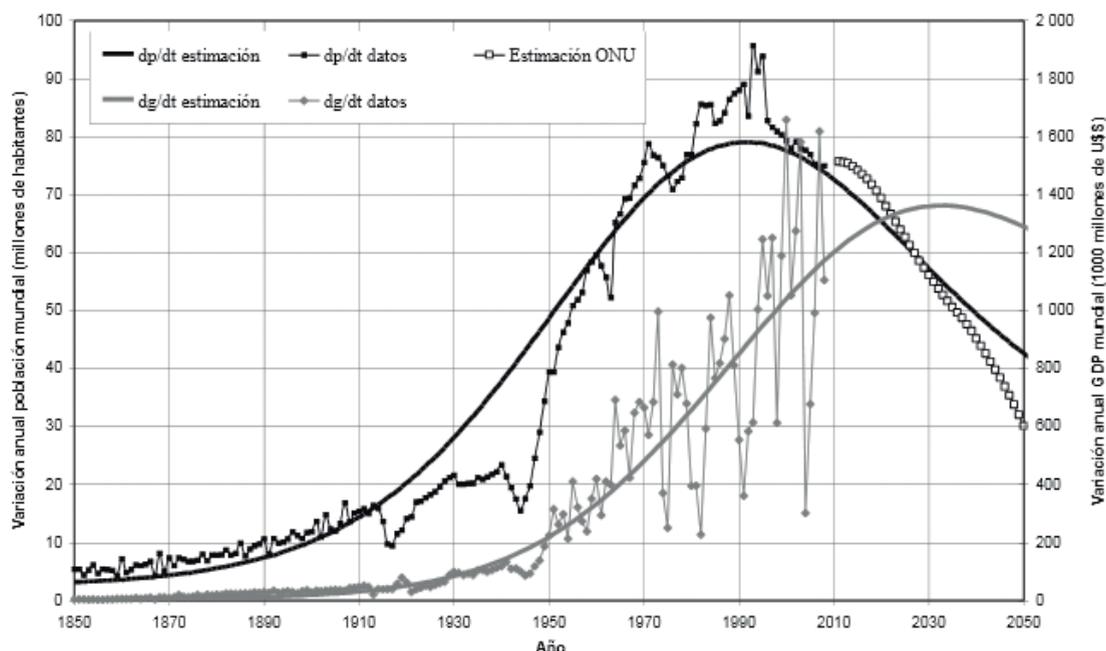


Fig. 3. Variación de la población mundial en millones de habitantes, y del GDP en miles de millones de dólares.

su crecimiento poblacional y generando el mencionado desplazamiento de la estructura de la población hacia edades mayores.

La Fig. 3 muestra los datos históricos y las proyecciones de la ONU, junto con los resultados obtenidos para la variación de la población mundial a partir de calcularla como la diferencia entre las tasas de natalidad y mortalidad estimadas como funciones logísticas, en millones de habitantes, y a su vez, los datos históricos y los resultados correspondientes para la variación del GDP en miles de millones de dólares. Mientras que el crecimiento de la población exhibe una curva con forma de campana con un máximo alrededor de los años 1989-1990, y un valor en su derivada que tiende a los 90 millones de habitantes por año, la curva de crecimiento del GDP al presente aún no ha alcanzado su valor máximo (Puliafito et al., 2008; Puliafito y Castesana, 2009; Puliafito, 2011). Sin embargo, en el modelo de crecimiento económico adoptado, la población y el GDP están acoplados, por lo tanto, el GDP también cambiará su tasa de crecimiento actual y producirá un valor máximo alrededor del año 2030, a partir del cual comenzará a disminuir. Esto es consistente con la idea de que el descenso de la

fertilidad y los cambios en la estructura de la población, si bien produjeron resultados económicos positivos en un principio, debidos al efecto de retardo relacionado con la magnitud del factor gamma de la ecuación (7), a largo plazo, si esta estructura de población continúa desplazándose a edades mayores, la producción económica se reducirá debido al envejecimiento de la población por un desplazamiento de los intereses y consumos de la población³.

El modelo "semi-endógeno" adoptado establece que la economía a largo plazo se verá acelerada sólo si la población aumenta a velocidades crecientes con acumulación de capital humano. Si la población presenta tasas de crecimiento en aumento, la economía también lo hará, pero será el factor gamma el que regule las magnitudes en la proporcionalidad entre ambas variables y el retardo en la respuesta. Del análisis de datos se puede observar que los sectores más desarrollados (y con más inversión en I+D) presentan valores más altos de dicho índice que el valor medio mundial (alrededor de 2,5 actualmente), y los países menos desarrollados presentan valores menores. En la Fig. 4 se presenta un gráfico del logaritmo del GDP/cápita en función del logaritmo de la población para

³ En nuestra opinión, la reciente crisis mundial económica y financiera de los países desarrollados podría deberse a esta necesidad de adaptar la economía a otro tipo de consumo. Puede notarse que esta crisis fue motivada o iniciada por la pérdida del crédito inmobiliario. El crédito inmobiliario está fuertemente ligado al tamaño y ahorro de las familias, lo cual fue históricamente el ahorro de las naciones (Schumpeter, 1934, 1942). Una economía en proceso de envejecimiento reduce su ahorro inmobiliario y prioriza el consumo actual a costa de un ahorro futuro (crédito).

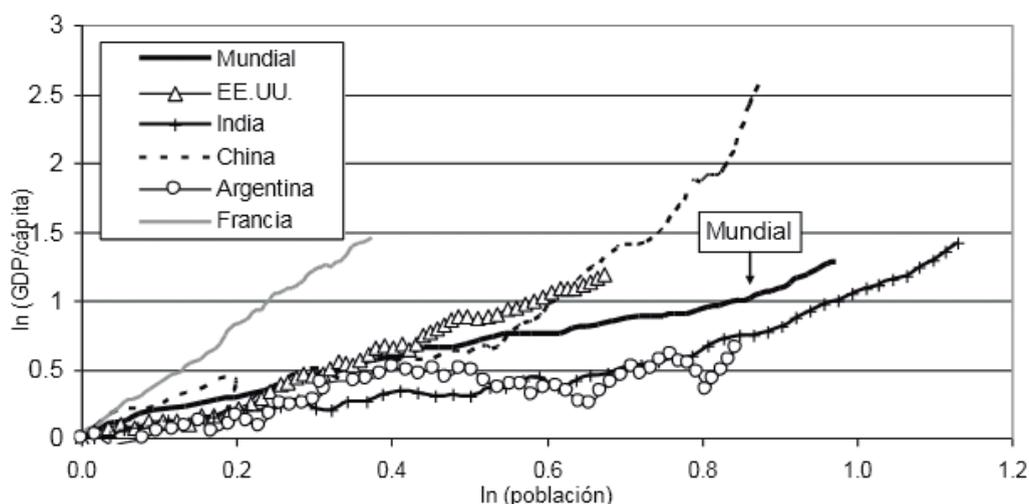


Fig. 4. Logaritmo del GDP/cápita en función del logaritmo de la población para valores normalizados a 1950.

Período	p%	x%	e/g%	//medio	suma e%	e%
1950-2008	165	261	-41	1,4	385	467
1950-1960	19	33	8	1,6	59	70
1960-1970	23	33	-10	1,4	45	46
1970-1980	20	21	-9	1,1	33	33
1980-1990	18	14	-9	0,7	23	23
1990-2000	15	17	-15	1,1	17	15
2000-2008	10	26	-12	2,5	24	22

Tabla 1. Variación temporal de los indicadores del consumo de energía global.

Período	p%	x%	e/g%	c/e%	suma c%	c%
1950-2008	165	261	-41	-6	379	434
1950-1960	19	33	8	-7	52	58
1960-1970	23	33	-10	8	53	58
1970-1980	20	21	-9	-1	31	31
1980-1990	18	14	-9	-5	18	16
1990-2000	15	17	-15	-2	16	13
2000-2008	10	26	-12	2	26	25

Tabla 2. Variación temporal de los indicadores de emisiones de carbono global.

distintos países desde el año 1950 al 2008. En el mismo, la pendiente de cada curva es una estimación del factor de proporcionalidad gamma. Según lo observado en la Fig. 4, los valores altos en el factor de altos en el factor de proporcionalidad gamma repercutirán en la economía de manera positiva aumentando el nivel de ingresos, pero no acelerarían el crecimiento económico. Para países como Francia, Estados Unidos y China, un aumento en la población implica un mayor aumento en los ingresos que los correspondientes a países como Argentina o India, o dicho de otra manera, para lograr un aumento similar en el GDP/cápita, India necesitó aumentar un 200% su población desde 1950, mientras

que Francia lo logró con un crecimiento inferior al 50%. En dicha figura también se puede ver la diferencia del aumento del tamaño de la población que existe entre países con distinto grado de desarrollo, para el mismo período de tiempo.

Del análisis de las expresiones derivadas del método multiplicativo lineal adoptado para el consumo energético y las emisiones de carbono, se desprende que su variación porcentual no sólo depende de las variables analizadas hasta el momento, sino también de indicadores de eficiencia energética y de carbonización. La Tabla 1 muestra la variación temporal de los distintos factores involucrados en la expresión del consumo mun-

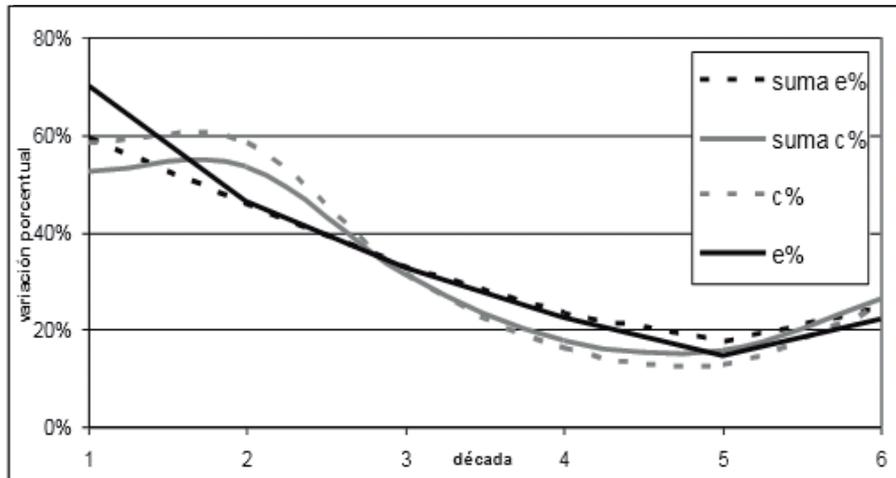


Fig. 5. Variación porcentual mundial de las emisiones de carbono y del consumo energético.

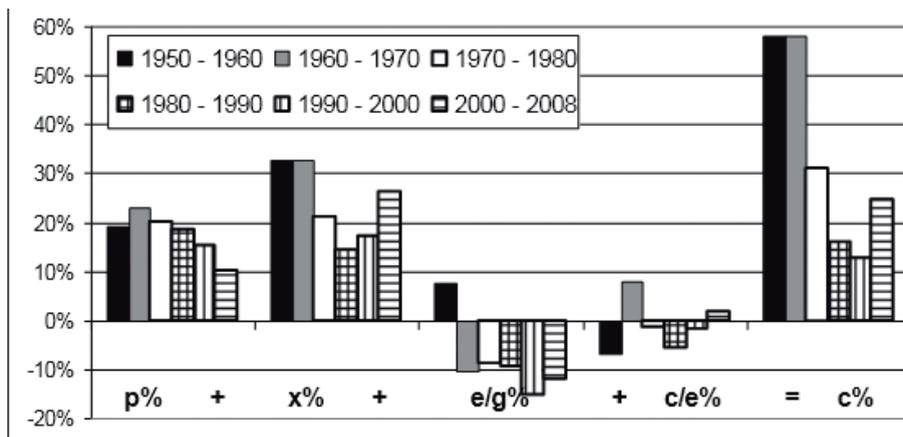


Fig. 6. Contribución de los distintos factores a la variación de las emisiones de carbono, por década.

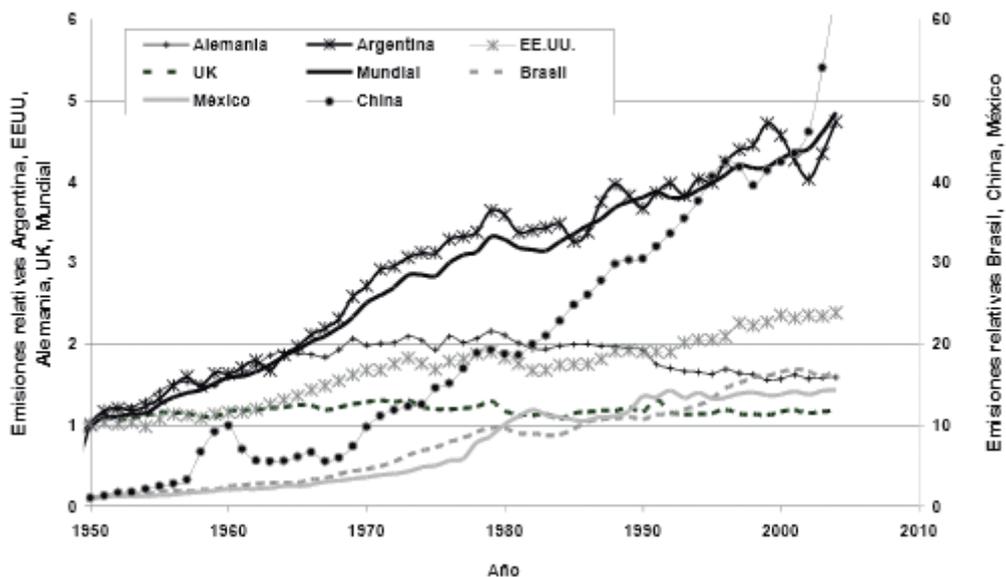


Fig. 7. Emisiones de carbono (valores normalizados a 1950) para distintos países (notar que los datos de Brasil, China y México corresponden al eje de la derecha)

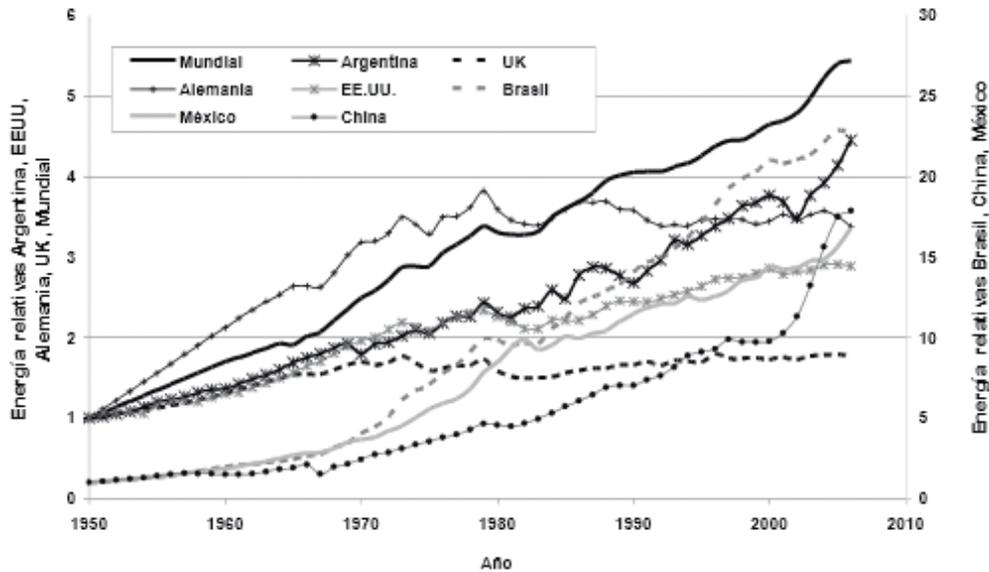


Fig. 8. Consumo de energía (valores normalizados a 1950) para distintos países (notar que los datos de Brasil, China y México corresponden al eje de la derecha)

dial de energía (Ecuación 4), y la Tabla 2, los correspondientes a la expresión de las emisiones globales de carbono (Ecuación 5), por década. La columnas denominadas $e\%$ y $c\%$ se calculan sumando las primeras 3 columnas (Tabla 1) o las primeras cuatro columnas (Tabla 2), y se compara su resultado con la última columna $e\%$ y $c\%$ respectivamente para ambas tablas. Las diferencias entre el valor calculado, por ejemplo, $e\%$ y $c\%$, muestran el grado de aproximación de las ecuaciones (1) y (2). La diferencia indica un posible acoplamiento entre los factores lo cual se manifiesta más en el acumulado de 60 años que en los promedios decadales. La Fig. 5 presenta la variación temporal relativa del consumo de energía y de las emisiones obtenidas a partir de la suma de los factores involucrados en el método multiplicativo, en contraste con los datos históricos. La Fig. 6 muestra gráficamente lo expresado en la Tabla 2, con el fin de visualizar las tendencias y compensaciones de los indicadores. En las mismas se puede ver la disminución en el crecimiento de la población, y una respuesta aún positiva en los ingresos como efecto del retardo⁴ observado en la Fig. 3. Este aumento en los ingresos implica un mayor nivel de consumo de bienes y de energía primaria, y un consecuente aumento en el nivel de emisiones. Sin embargo, se puede observar que los aumentos en la población y el GDP per cápita son compensados parcialmente por la

disminución de los indicadores tecnológicos, los cuales muestran, en general, una tendencia decreciente en los últimos años (nótese que la década correspondiente a 2000-2010 no está completa, debido a la disponibilidad de datos), dando como resultado una disminución en la variación tanto del consumo de energía como de las emisiones.

Es importante notar una mejora constante en la intensidad energética e/g que se puede traducir en un ahorro de energía por unidad de producción, sin embargo no hay todavía una tendencia definitiva en el índice de carbonización c/e . Se aprecia, en un detalle más fino, que en lo que va de la última década, el crecimiento del consumo energético fue del 22% mientras que las emisiones crecieron un 25%. En este mismo período la población solo creció el 10% y el consumo en cambio aumentó el 26%. La eficiencia tecnológica mejoró un 12%, lo que compensó en parte el crecimiento poblacional y 2% del consumo. Por otra parte el aumento de las economías emergentes con eficiencias tecnológicas más pobres hizo empeorar el índice de carbonización en un 2%.

La Fig. 7 y la Fig. 8 muestran los valores relativos (normalizados para 1950) de las emisiones de carbono y del consumo de energía (EIA) respectivamente, para un grupo de países con distintos patrones de desarrollo.

⁴El factor gamma en las últimas décadas presenta valores crecientes, probablemente atribuibles a diferentes políticas económicas de mayor interés de inversión en ciencia y tecnología.

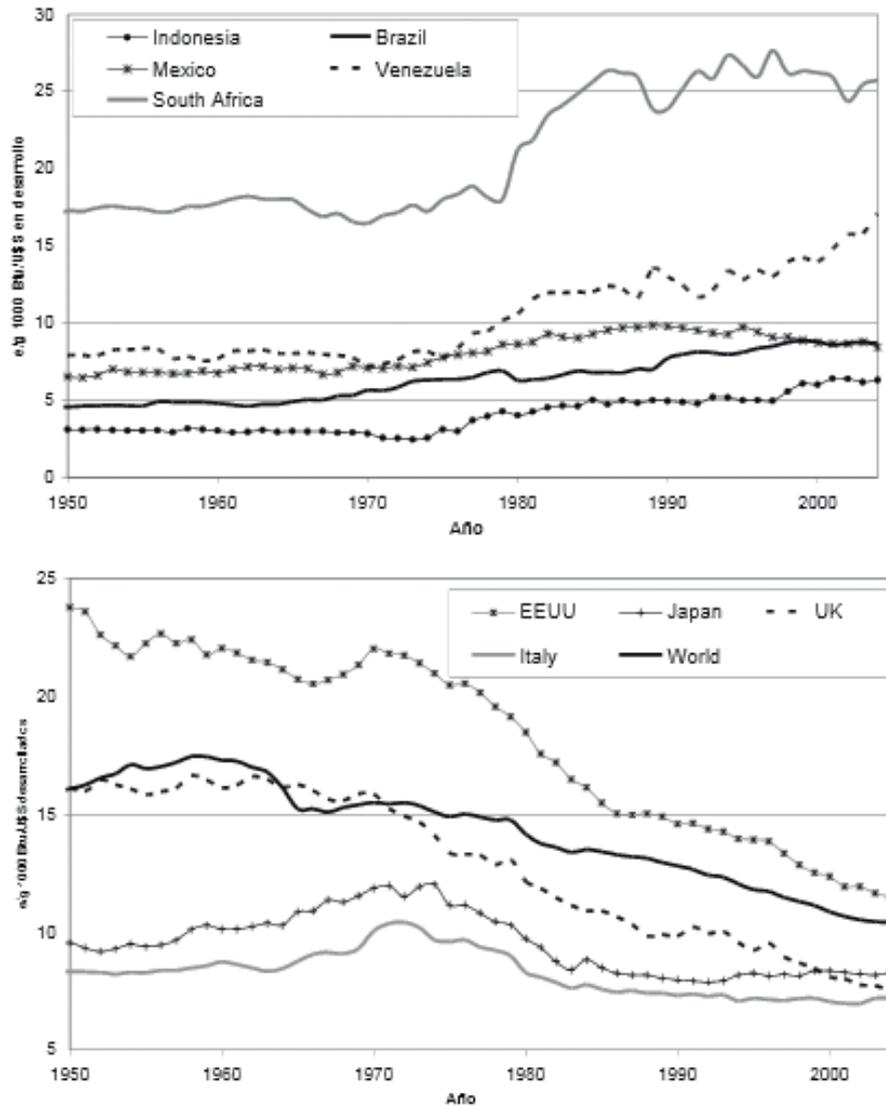


Fig. 9. Intensidad energética, en miles de Btu/U\$S, para un grupo de países en desarrollo (arriba), y desarrollados y mundial (abajo)

Se puede observar en ambos casos, que los países denominados en desarrollo presentan valores relativos ampliamente mayores, y con pendientes positivas más pronunciadas que los países desarrollados y el mundo. Esto es, en la actualidad, las emisiones y el consumo energético del primer grupo de países ha aumentado en varios órdenes respecto a 1950 (China 60: veces, Brasil: 18 veces), mientras que para el segundo grupo, estos valores o bien crecen a tasas menores (Mundial: 5 veces, Argentina: 5 veces, EEUU: 2,3 veces), o bien se encuentran estabilizándose a valores constantes.

La Fig. 9 muestra la evolución en el tiempo del factor de intensidad energética, en miles de Btu/U\$S, (1 Btu = 1054,2 J) para un grupo de

países en desarrollo (arriba), y para un grupo de países desarrollados y la tendencia mundial (abajo). A partir de dicho análisis se encontró que el primer grupo muestra curvas crecientes o máximos locales hacia la actualidad, y el segundo presenta, en general, una disminución de dicho indicador en los últimos 40 años. Las tendencias observadas en este factor se traducen en el hecho de que si bien los países desarrollados necesitan consumir cantidades decrecientes de energía para aumentar su riqueza, los países en vías de desarrollo crecerán a costas de aumentar notoriamente su consumo energético. En estas curvas, de manera similar a lo observado para las tasas de natalidad, también es posible imaginar un "camino hacia el desarrollo": en este caso las curvas presentan

un crecimiento en forma de campana, mostrando un valor máximo a partir del cual la pendiente comienza a decrecer para luego llegar a valores más estables a lo largo del tiempo. Los sectores más desarrollados y la tendencia a nivel mundial se encuentran en la actualidad en el tramo final de dicho camino, mientras los sectores en vías de desarrollo están empezando a transitarlo. Esto plantea el dilema actual: el aumento de las emisiones se debe especialmente a un aumento del consumo. Sin embargo en los países en vías de desarrollo, un mayor consumo significa superar niveles de pobreza y tener acceso a educación, salud y trabajo. En estos países el aumento del consumo y riqueza se está desarrollando a costa de producir con mayores índices de carbonización y menores eficiencias tecnológicas. En los países desarrollados, en cambio, el uso de energía se ha estabilizado, pero ha aumentado su nivel de consumo.

El índice de carbonización c/e está fuertemente relacionado a las fuentes de energía utilizadas y al factor de emisión de cada una. La Fig. 10 muestra la tendencia del índice de carbonización en gramos de $CO_2/1000$ Btu (datos EIA⁵) para distintos países con patrones energéticos bien diferenciados. Se seleccionaron por un lado, países con economías fuertes y altos por-

centajes de uso de energía nuclear e hidráulica, y por el otro, países con economías emergentes y altos porcentajes de uso de carbón, combustible con un factor de emisión superior al medio de los combustibles fósiles, en comparación con la tendencia mundial y sectores de comportamiento medio, como Argentina, España y Japón.

En la actualidad, los países de índices bajos como Francia presentan valores cercanos a 0.5, y 4.5 para sectores consumidores de carbón, como China, mientras que la tendencia mundial es de alrededor de 0.95. La Tabla 3 muestra la proporción de consumo de energía por fuente para cada uno de los países citados (datos EIA⁵), observándose claramente los distintos patrones energéticos utilizados por cada región. La Fig. 11 muestra la superposición de la evolución del factor c/e y la variación de la fuente de energía utilizada desde 1965 para tres sectores diferenciados: un sector de consumo energético basado en fuentes no emisoras (Francia y Brasil), un sector de alto consumo de "combustibles sucios" como China, India y Sudáfrica, en comparación con Argentina y con la tendencia mundial. Se observa que las variaciones en las fuentes de energía utilizadas son rápidamente reflejadas en el índice de carbonización. Dado que dicho factor está fuertemente asociado a

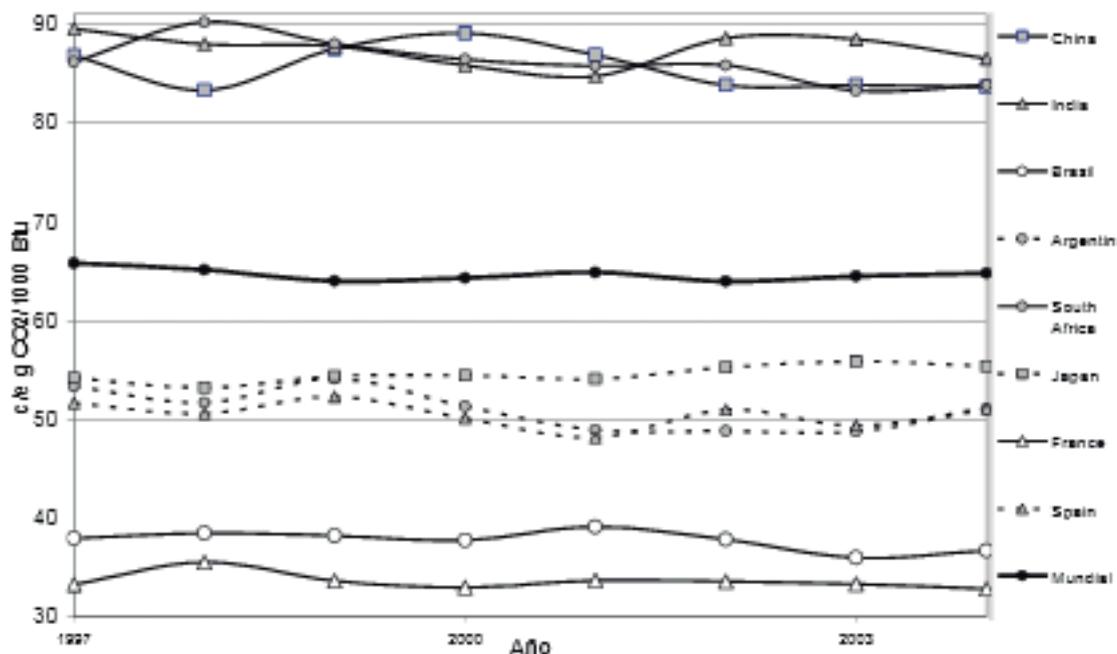


Fig. 10. Índice de carbonización en gramos de $CO_2/1000$ Btu

⁵ Los datos de energía primaria corresponden solamente a los combustibles comercializados. Se excluyen los combustibles como la madera, la turba y los residuos animales que, aunque representan una proporción importante en algunos sectores, son poco fiables en términos de estadísticas de consumo. También están excluidos los datos de energía eólica, geotérmica y solar.

País	Carbón %	Petróleo %	Gas %	Hidráulica %	Nuclear %
India	53.4	31.2	8.6	6.0	0.8
China	70.2	18.8	3.6	6.6	0.8
Sudáfrica	77.7	19.9	0.0	0.1	2.3
Mundial	29.2	34.8	24.1	6.4	5.5
España	10.1	53.6	24.4	2.6	9.3
Japón	25.4	43.7	16.6	3.1	11.2
Argentina	0.5	32.4	53.6	11.3	2.2
Francia	4.6	35.7	15.4	5.6	38.6
Brasil	6.4	46.2	9.9	36.1	1.4

Tabla 3. Consumo de energía por fuente para el año 2008.

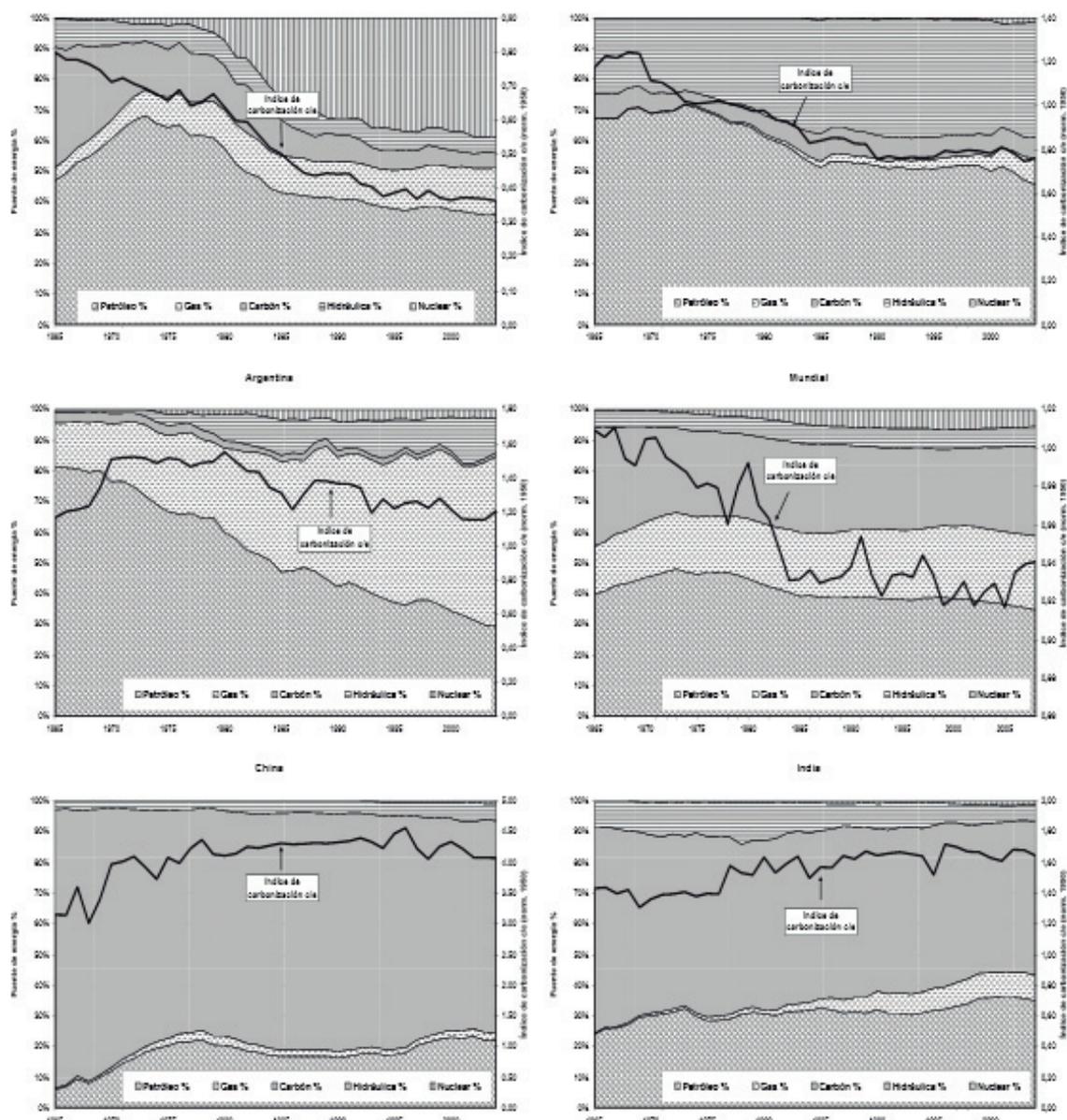


Fig. 11. Evolución del factor c/e y de la variación de la fuente de energía utilizada desde 1965 para Francia y Brasil (arriba), Argentina y en mundo (centro) y China e India, (abajo)

tecnología utilizada en la producción de energía eléctrica, que a nivel global está dominada por las grandes centrales de carbón usadas en China e India, con eficiencias tecnológicas pobres, en la tendencia mundial se evidencia que en la actualidad dicho índice está aumentando.

Conclusiones

El trabajo presentado describe los cambios de la población, el producto bruto interno, el consumo de energía primaria y las emisiones de carbono y analiza las variaciones temporales y sectoriales de los principales indicadores tecnológicos, con el objetivo de determinar la influencia de la dinámica poblacional sobre las emisiones. Tanto a nivel mundial como para distintos países, se prevé un estancamiento a largo plazo de la economía como efecto de la reducción en la tasa de crecimiento poblacional y el consiguiente envejecimiento de la población mundial, lo cual reduciría su capital humano. Este hecho tendrá como consecuencia una estabilización y/o reducción del consumo de energía y de las emisiones de carbono, siempre y cuando los valores globales de intensidad energética y de las emisiones sigan manteniendo una tendencia decreciente.

A partir del análisis de indicadores se puede interpretar que el uso de tecnologías cada vez más eficientes repercute positivamente en la intensidad energética. Esto se ve en los países desarrollados, que necesitan cada vez menos energía para aumentar sus riquezas. Sin embargo, el crecimiento económico de los países en desarrollo está fuertemente ligado y dependiente del consumo energético, por lo cual frenar dicho consumo podría traer con secuencias negativas sobre su crecimiento, con sus efectos de pobreza e inequidad. A través de un crecimiento económico se logra el aumento en el capital humano, y por ende, en las condiciones de vida.

Otro factor analizado es el índice de carbonización, el cual parece estar más ligado a las fuentes de energía y tecnologías utilizadas por región, que al crecimiento económico de las mismas, presentando valores más desfavorables para sectores regidos por fuentes de energía primaria con altos índices de emisión y bajos valores de eficiencia tecnológica. Este aspecto es muy interesante, pues permite decidir las medidas y esfuerzos necesarios para

producir una estabilización o reducción efectiva de las emisiones antrópicas de CO₂ que pueden afectar los cambios climáticos observados.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Consejo Nacional de Investigación y Científicas y Tecnológicas (CONICET), a la Agencia Nacional de Promoción de la Ciencia y la Tecnología (ANOCyT) y a la Universidad Tecnológica Nacional (UTN) por su apoyo financiero.

Referencias

- BAR, M.; LEUKHINA, O. (2010). *Demographic Transition and Industrial Revolution: A Macroeconomic Investigation*. Review of Economic Dynamics, 13 (2), 424
- BECKER, G.; BARRO, R. (1988). *A Reformulation of the Economic Theory of Fertility*. Quarterly Journal of Economics, 108 (1), 1
- BECKER, G.; MURPHY, K.; TAMURA, R. (1990). *Human Capital, Fertility and Economic Growth*. Journal of Political Economy, 98, S12
- CANADELL, J.; LE QUÉRÉC, C.; RAUPACH, M.; FIELD, C., BUITENHUIS, E.; Ciais, P.; CONWAY, T.; GILLET, T.; HOUGHTON, R.; MARLAND, G. (2007). *Contributions to accelerating atmospheric CO₂ growth from economic activity, carbon intensity, and efficiency of natural sinks*. PNAS, 104, 18866
- CASS, D (1965). *Optimum Growth in an Aggregative Model of Capital Accumulation*. Review of Economic Studies, 32, 233.
- EIA. Energy Information Administration: International Energy Outlook 2009, www.eia.doe.gov/oiaf/ieo/index.html.
- GALAOR, O.; WEIL, D. (1996). *The Gender Gap, Fertility, and Growth*. American Economic Review, 86 (3), 374.
- GROSSMAN, G.; HELPMAN, E. (1991). *Innovation and growth in the global economy*. Cambridge, MA: MIT Press.
- HANSEN, G.; PRESCOTT, E. (2002). *Malthus to Solow*. American Economic Review, 92 (4), 1205.
- HUANG B.; HWANG, M.; YANG, C. (2007). *Causal relationship between energy consumption and GDP growth revisited: A dynamic panel data approach*. Ecological Economics 67 (1), 41.
- IPCC (2007). *Climate Change 2007. Synthesis Report*. Contribución de los Grupos de Trabajo I, II y III en el cuarto Assessment Report del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático. En: Pachauri RK, Reisinger A (eds.) IPCC, Ginebra, Suiza.
- JONES, C. (1995). *R&D Based Models of Economic Growth*. Journal of Political Economy, 103, 759.
- KAYA, Y. (1990). *Impact of Carbon Dioxide Emission Control on GNP Growth: Interpretation of Proposed Scenarios*. IPCC Energy and Industry Subgroup, Response Strategies Working Group, Paris.
- KREMER, M. (1993). *Population growth and technological change: One million B. C. to 1990*. Quarterly Journal Economics, 108, 681.
- LUCAS, R. (1988). *On the Mechanics of Economic Development*. Journal of Monetary Economics, 22 (1), 3.
- MADDISON, A. (2008). *Historical Statistics for the World Economy: 1-2006 AD*, www.ggdc.net/maddison.
- ONU. Organización de las Naciones Unidas: *World Population Prospects: The 2004 Revision*. www.un.org/esa/population/unpop.htm.
- PULIAFITO, E. (2011). *Influence of the population and economic growth on the carbon budget cycle*. International Journal for Ecology and Development, 18 (W11), 91.
- PULIAFITO, E.; CASTESANA, P. (2009). *Influencia del crecimiento económico y poblacional en el balance del ciclo de carbono*. Avances en energías renovables y medio ambiente, 7, 25.
- PULIAFITO, E.; PULIAFITO, J.; CONTE GRAND, M. (2008). *Modeling population dynamics and economic growth as competing species: An application to CO₂ global emissions*. Ecological Economics, 65 (3), 602.
- RAUPACH, M.; CANADELL J.; LE QUÉRÉC, C. (2008). *Anthropogenic and biophysical contributions to increasing atmospheric CO₂ growth rate and airborne fraction*. Biogeoscience Discuss, 5, 2867.
- RAMSEY, F. (1928). *A Mathematical Theory of Saving*. Economic Journal, 38, 543.
- RICHMOND, A.; KAUFMANN, R. (2006). *Is there a turning point in the relationship between income and energy use and/or carbon emissions?*. Ecological Economics 56, 176.
- ROMER, P. (1986). *Increasing Returns and Long-Run Growth*. Journal of Political Economy, 94 (5), 1002.
- SOLOW, R. (1956). *A Contribution to the Theory of Economic Growth*. Quarterly Journal of Economics, 70, 65.
- TAMURA, R. (2002). *Human capital and the switch from agriculture to industry*, Journal of Economic Dynamics & Control, 27, 207.