

La necesidad del mineral de hierro y la curva de Kuznets ambiental. El caso español

L. de la Torre de Palacios

Universidad Politécnica de Madrid. ETS Ingenieros de Minas
ltp@coimce.com

RESUMEN

La evolución en el consumo de acero y el crecimiento económico de un país dan lugar a dos curvas cuya pendiente relativa es indicativa de su grado de madurez ambiental. El análisis de ambas curvas, junto con su Curva de Kuznets (EKC), permite estudiar la posición medioambiental que ha ido ocupando nuestro país, en lo referente a dicho consumo, a lo largo de más de un siglo.

Considerando que el consumo de acero necesita de su producción previa, es imprescindible señalar para este estudio, que la siderurgia española en los últimos tiempos basa gran parte de su capacidad en el horno eléctrico, por lo que será gracias a la fabricación de acero cuando se logrará un resultado positivo tras el estudio de su curva de Kuznets medioambiental. El empleo de reciclado, junto con una menor producción de CO₂, emplaza a la siderurgia española en una situación favorable en el recorrido de su EKC, situando a España en una posición madura y con buenas perspectivas en el empleo del mineral de hierro y su transformación en acero.

Palabras clave: Kuznets, mineral de hierro, minería, recursos minerales, siderurgia

The need for iron ore and the environmental Kuznets curve. Spain

ABSTRACT

Firstly, the environmental position of Spain with regard to steel consumption is defined according to the Kuznets curve (EKC) hypothesis.

It is essential to undertake a complete environmental assessment of Spanish iron-ore consumption, to study the different steelmaking processes at this moment, emphasising the contribution of the high electric arc furnace. The use of recycled scrap, together with lower CO₂ emissions, have succeeded in establishing Spain in a good environmental situation.

Key words: iron-ore mining, Kuznets, mineral resources, mining, steelmaking

Introducción

En una coyuntura económica global donde el consumo de materias primas procedentes del exterior viene marcado por un alza en sus precios, resulta de interés analizar la relación entre el crecimiento económico del país y la necesidad de consumo de una materia prima tan indispensable como es el acero (más aún en un país como España, donde actualmente no existe producción de mineral de hierro).

El objetivo perseguido con este trabajo será revelar, con una perspectiva de más de cien años y mediante una posible curva que defina su evolución ambiental, la posición cierta que ocupa nuestro país. Una posible manera de analizar esta madurez ambiental es el estudio de la relación existente entre el consumo de acero, su fabricación y el crecimiento económico del país, atendiendo al empleo de la Curva de Kuznets Ambiental (EKC o *Environmental Kuznets Curve*) donde se relaciona el PIB del país con la degradación de sus recursos naturales.

La sociedad en su desarrollo origina un impacto medioambiental, el cual es razonable aventurar que aumentará con la actividad humana. Si en la coyuntura de bajos ingresos de un país el impacto medioambiental aumenta y, sin embargo, cuando los ingresos son mayores éste impacto disminuye, entonces se dice que esta evolución sigue la curva de Kuznets ambiental (Kauppi *et al.*, 2006).

La proposición general de que el crecimiento económico resulta favorable para el medioambiente, queda justificada por la relación empírica entre los ingresos per cápita y algunas medidas de la calidad medioambiental. Se ha observado que tal como los ingresos aumentan, la degradación ambiental alcanzará un punto de inflexión a partir del cual la calidad medioambiental mejorará, siguiendo el proceso una curva en forma de "U" invertida. Esto puede explicarse observando cómo, al alcanzar mayor nivel de vida, la población presta mayor atención al medioambiente, creando así legislación apropiada, instituciones para la protección del medioambiente, etc. (Arrow, 1995).

Existen diversos ejemplos donde se emplea la curva medioambiental de Kuznets para la explicación de la evolución de un parámetro medioambiental determinado, frente al de los ingresos per cápita del país. Este es el caso de las aguas industriales, donde quedó demostrado que en la mayoría de los países de la OCDE se experimentó un crecimiento en el consumo de estas aguas, seguido de una estabilización y un posterior descenso (Shaofeng, 2006); otro ejemplo de empleo es la aplicación de la curva de Kuznets para la concentración de los NOx, descubriéndose que ésta decrecía una vez alcanzados unos ingresos per cápita de entre 12.000 \$ y 14.700 \$ (Cole *et al*, 1997; Seldom and Song, 1994).

El concepto de la curva EKC surge en los años noventa de la mano de Grossman y Krueger en su estudio sobre impactos en la NAFTA (1991), popularizándose en el Informe de Desarrollo Mundial de 1992 del Banco Mundial. Beckerman (1992) señala que “existe una clara evidencia de que, aunque el crecimiento económico conduce a una degradación medioambiental en las etapas iniciales del proceso, al final, la mejor —y probablemente la única— manera de lograr un medioambiente más apropiado en la mayoría de los países, es volverse rico” (Stern, 2003).

Malembaum (1978) propuso una relación general entre el empleo de recursos nacionales y su PIB, ambos expresados per cápita. Su hipótesis resultaba ser que la necesidad de consumo (inputs) aumentaría con el PIB, mientras que la nación esté construyendo infraestructuras y estableciendo fábricas, sin embargo, conforme la nación adopta una economía más centrada en el sector servicios, ese consumo inicial disminuiría. Esto es la curva de Kuznets. Sin embargo, han aparecido estudios donde en diversas naciones este consumo se ha mantenido estable, a pesar de los incrementos del PIB, en contra de la previsión obtenida de la curva de Kuznets (Bringezu, 2004).

Al principio de este documento se analizarán las tendencias en las curvas de consumo aparente de acero y de renta per cápita del país (PIB per cápita), atendiendo a sus variaciones principales y su influencia en ambos parámetros, desde el punto de vista de la demanda de acero provocada por la modernización del país a lo largo del siglo xx hasta nuestros días. Una cierta divergencia a mediados de los años 70 sugiere una mejora en su situación ambiental, sin embargo, la recuperación en el período 2003-2007 del consumo de acero (debido principalmente a la construcción) hace converger de nuevo ambas curvas, lo que provoca abandonar el pensamiento de una mejora en la eficacia del consumo

del metal. Sin embargo, será el estudio del proceso empleado para la fabricación de acero en España a través del horno eléctrico, el que localizará al país en la vertiente óptima de la curva de Kuznets ambiental: por la menor necesidad de mineral de hierro y por unas menores emisiones ambientales ligadas al proceso.

Esta idea se soporta analizando el comportamiento de su Curva de Kuznets Ambiental, donde se relacionan en la misma curva el consumo de acero frente al crecimiento económico de un país, y posteriormente el ahorro de emisiones de CO₂. La comparación de la gráfica del país con la curva ideal de Kuznets (curva en “U” invertida) mostrará la situación en donde éste se encuentra, deduciendo según su distancia al punto de inflexión de la curva su grado de madurez ambiental.

Breve visión del consumo de acero y del crecimiento económico de España (1900-2009)

Los diferentes hitos económicos alcanzados en la época de la post-revolución industrial en España, se han visto reflejados en las variaciones de su consumo de acero. Aunque actualmente se considere en desuso el empleo del consumo de acero como un índice apropiado de desarrollo, sin embargo, en el período de inicio de industrialización y hasta que el país alcanza el grado adecuado de madurez ambiental (punto de inflexión en la Curva de Kuznets), las tendencias de la curva de consumo de acero y la formada por la renta del país, ambas per cápita, resultan parejas (ver Fig. 3).

España ha sido un país eminentemente agrícola hasta ya entrada la segunda mitad del siglo xx. Se debe considerar que la media de consumo de acero per cápita en los primeros cincuenta años del siglo resultó ser de 22 kg (África en el año 2000 tenía un consumo per cápita de 30 kg, *World Steel Association*, 2010), consumo que para verse superado sin nuevos retrocesos, nuestro país debería esperar hasta el año 1947 (ver Tabla 1).

La llegada del año 1929 marca un máximo histórico del país en su consumo aparente (47 kg/habitante), suficiente para ser apreciado como un signo de una expansión industrial incipiente.

Este máximo desembocaría, tras el desplome provocado por una Guerra Civil, en una época de estancamiento que, en los años 40 y tras el comienzo aperturista de finales de década, lograra una mejora en el crecimiento económico general, reflejado en un aumento del consumo aparente en los años 50 (Fig. 1).

| Año | kg A°/h |
|------|---------|------|---------|------|---------|------|---------|
| 1900 | 14 | 1924 | 31 | 1958 | 59 | 1986 | 211 |
| 1901 | 11 | 1925 | 36 | 1959 | 59 | 1987 | 228 |
| 1902 | 11 | 1926 | 32 | 1960 | 55 | 1988 | 270 |
| 1903 | 13 | 1927 | 35 | 1961 | 82 | 1989 | 292 |
| 1904 | 12 | 1928 | 40 | 1962 | 92 | 1990 | 296 |
| 1905 | 15 | 1929 | 47 | 1963 | 114 | 1991 | 287 |
| 1906 | 16 | 1930 | 43 | 1964 | 139 | 1992 | 275 |
| 1907 | 19 | 1940 | 19 | 1965 | 187 | 1993 | 244 |
| 1908 | 17 | 1942 | 19 | 1966 | 195 | 1994 | 289 |
| 1909 | 15 | 1943 | 25 | 1967 | 188 | 1995 | 337 |
| 1910 | 16 | 1944 | 24 | 1968 | 210 | 1996 | 312 |
| 1911 | 18 | 1945 | 21 | 1969 | 259 | 1998 | 395 |
| 1912 | 17 | 1946 | 24 | 1970 | 258 | 1999 | 442 |
| 1913 | 21 | 1947 | 23 | 1971 | 230 | 2000 | 465 |
| 1914 | 20 | 1948 | 24 | 1972 | 276 | 2001 | 496 |
| 1915 | 20 | 1949 | 27 | 1973 | 313 | 2002 | 513 |
| 1916 | 17 | 1950 | 29 | 1974 | 334 | 2003 | 678 |
| 1917 | 16 | 1951 | 30 | 1975 | 281 | 2004 | 574 |
| 1918 | 15 | 1952 | 34 | 1976 | 279 | 2005 | 550 |
| 1919 | 15 | 1953 | 36 | 1977 | 278 | 2006 | 601 |
| 1920 | 16 | 1954 | 42 | 1978 | 227 | 2007 | 680 |
| 1921 | 23 | 1955 | 50 | 1979 | 213 | 2008 | 598 |
| 1922 | 19 | 1956 | 52 | 1980 | 228 | 2009 | 312 |
| 1923 | 29 | 1957 | 58 | 1981 | 229 | | |

Tabla 1. Consumo aparente de acero en España (1900-2009). E.P. (J. Alzugaray, 1973; Escudero, 1999; Díaz Morlan, 2008).

Table 1. Apparent consumption of steel in Spain (1900-2009). E.P. (J. Alzugaray, 1973; Escudero, 1999; Díaz Morlan, 2008).

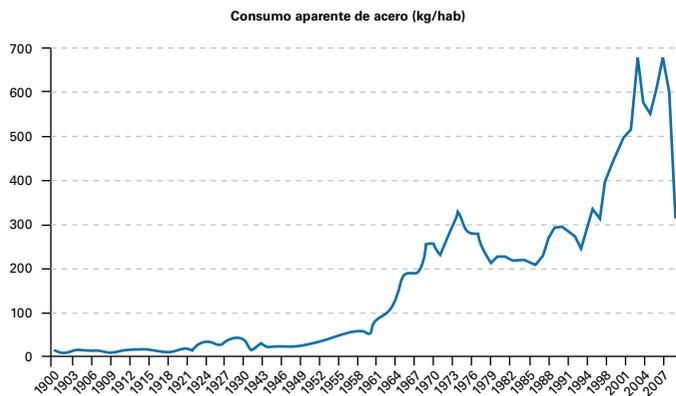


Figura 1. Consumo aparente de acero (kg/hab.) E.P.
Figure 1. Apparent consumption of steel (kg/inhabitant) E.P.

Esta evolución continuará en los años 60, donde se observa una evolución del consumo de acero de

29 kg/hab. en 1950 a prácticamente multiplicarlo por diez en 1969, en lo que se llamó “el milagro español”; todavía muy alejado de los consumos mundiales (ver Fig. 1).

En estos inicios de acercamiento al nivel de industrialización internacional, se observa cómo la tendencia unitaria en el consumo de acero y la renta de un país en pleno desarrollo es prácticamente idéntica (ver Fig. 3). La consideración del consumo de acero de un país como indicador de desarrollo, cobró fuerza en aquel momento, analizando el tipo de producto terminado consumido. Así, los países más desarrollados consumían productos planos que se dirigían hacia la industria naval, la automoción, o la fabricación de electrodomésticos. Este salto cualitativo se produce en España en la década de los 60, incrementándose desde un 30% a un 50% en 20 años (ver Fig. 2).

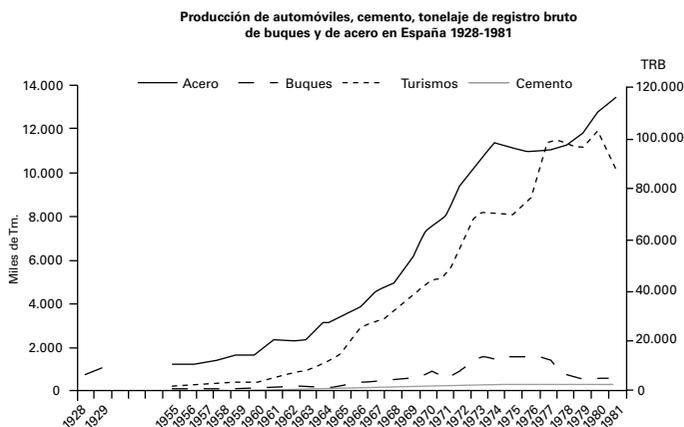


Figura 2. Fuentes de consumo de acero 1928-1981 (Estadísticas Históricas de España siglos XIX-XX, 1989).

Figure 2. Sources of steel consumption 1928-1981 (Estadísticas Históricas de España s. XIX-XX, 1989).

El crecimiento continúa hasta el año 1975, donde el consumo aparente sufre una caída del 16%, nivel que no recuperará hasta dos décadas después. Esta caída propiciada por la crisis energética internacional de 1973, aunque retrasada en el tiempo, cae con fuerza sobre la economía del país. Esto se ve retratado de igual manera en el consumo de acero, que solo logrará repuntar a mediados de los años 80 (ver Fig. 3). Este estancamiento en el consumo se debe a la crisis en la que se encuentra envuelto el país ante un exceso de producción, crisis en el material de transporte, en la maquinaria textil y en la producción metalúrgica. Las soluciones de reconversión y, principalmente, el ingreso en la CEE, logran mejorar aún más el crecimiento en la curva del PIB del país.

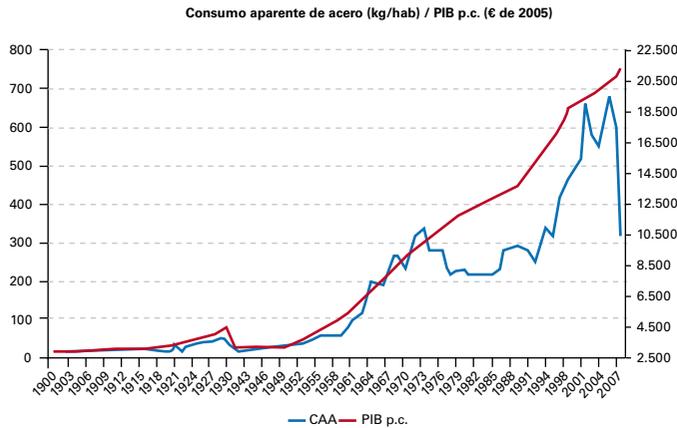


Figura 3. Consumo aparente de acero vs. PIB (1900-2007). E.P.
Figure 3. Apparent consumption of steel vs PIB (1900-2007), E.P.

Este crecimiento de la renta per cápita se ve de nuevo reflejado por el incremento del consumo de acero que seguirá una línea ascendente, salvo un repunte en 2004 y 2005 marcado por un retroceso en la automoción y una disminución en la demanda de la UE.

El ritmo de consumo de acero continuó en ascenso, parándose en seco ante la peor crisis económica desde la posguerra que convierte el año 2009 en uno de los peores para la industria. La caída de la construcción, acompañada del elevado nivel de déficit público debilitó la demanda interna y condujo a una caída del 31% del mercado nacional.

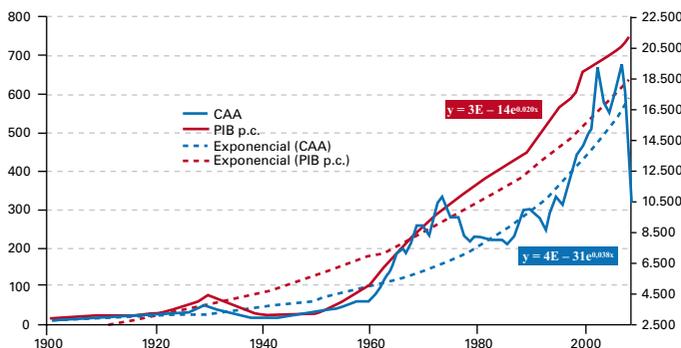


Figura 4. Consumo aparente de acero vs. PIB.
Figure 4. Apparent consumption of steel vs PIB.

El consumo aparente amplificó su caída iniciada en 2007, hasta los 11,9 Mt, un 34% menos que el año anterior y la mitad del máximo histórico de 2006. (UNESID, 2010).

La curva de Kuznets ambiental y su aplicación al consumo de acero en España

De todos es conocido, que los países avanzados consumen cada vez menos metales por habitante, resul-

tando muchas veces la industria pesada como sinónimo de obsolescencia. En las primeras etapas de su desarrollo, éstos utilizan los recursos naturales como herramientas para aumentar su crecimiento económico (medido en porcentaje de aumento del PIB), sin embargo, según aumenta la riqueza del país, se considera que los recursos naturales suponen un bien que debería ser preservado para siguientes generaciones (Costantini y Monni, 2008).

Por tanto, parece pertinente la hipótesis de la curva medioambiental de Kuznets (EKC), como teoría de análisis económico relativa a los recursos naturales, considerando los efectos del crecimiento económico sobre la calidad medioambiental. La curva EKC tiene forma de U invertida, relacionando el PIB del país con la degradación de sus recursos naturales (Culas, 2007; Van y Azomahou, 2007; Constantini y Monni, 2008).

El método empírico más habitual en el análisis de las hipótesis de la EKC, el método cuadrático (Ec.1), deduce que en la variación de la calidad ambiental, ésta, primero aumentará al incrementarse el PIB, para luego disminuir siguiendo la Curva de Kuznets Medioambiental (Selden y Song, 1994; Grossman y Krueger, 1995; Holtz-Eakin y Selden, 1995; Friedl y Getzner, 2002). Para ello, la y será el indicador ambiental, la x los ingresos, a una constante, b_k el coeficiente de las k variables explicativas, z otras variables de influencia en la degradación medioambiental, y e el error estocástico. Para que aparezca la curva en forma de "U" invertida en la relación entre x e y , los coeficientes deberán cumplir que $b_1 > 0$ y $b_2 < 0$, resultando así el cambio de tendencia en $-a_1/2a_2$. (Esmaeili y Abdollahzadeh, 2009; Huang *et al.*, 2007).

$$y_{it} = a_i + b_1 x_{it} + b_2 x_{it}^2 + b_3 z_{it} + e_{it} \quad (1)$$

La relación a que da lugar el análisis de las variaciones del consumo de acero por habitante, frente a la riqueza per cápita del país, se presenta como una Curva de Kuznets Medioambiental (CKE), de la siguiente forma:

$$CAA = a + b_1 PIB + b_2 PIB^2 + b_3 z_{it} + e \quad (2)$$

y : Consumo Aparente de Acero por habitante (CAA).

t : tiempo.

x : PIB por habitante.

z : variable externa, no es considerada.

En apartados anteriores se ha analizado, para el caso de España, la relación entre el crecimiento económico del país y su consumo de acero, descubriendo una clara divergencia a partir del último cuarto de siglo, que suponía una mejora en el grado de madurez ambiental

y que parecía apuntar hacia un cambio de tendencia (“turning point”) en las necesidades del consumo.

Así pues, observando la Figura 3 se deduce cómo, en un período de tiempo (1974-2003), el nivel de vida incrementa su pendiente, a la vez que disminuye la del consumo de acero. Ese período podría ser interpretado como un acercamiento a la madurez en la Curva de Kuznets, si no fuera por el posterior incremento en el consumo.

Considerando el período completo hasta 2009, se observa, siguiendo la hipótesis de EKC, cómo todavía no se ha alcanzado el punto de inflexión de tendencia que demuestre que, definitivamente, los incrementos en el PIB signifiquen disminuciones en el consumo de acero, ya que se obtuvieron incrementos en el consumo de hasta un 150% (ver Tabla 1).

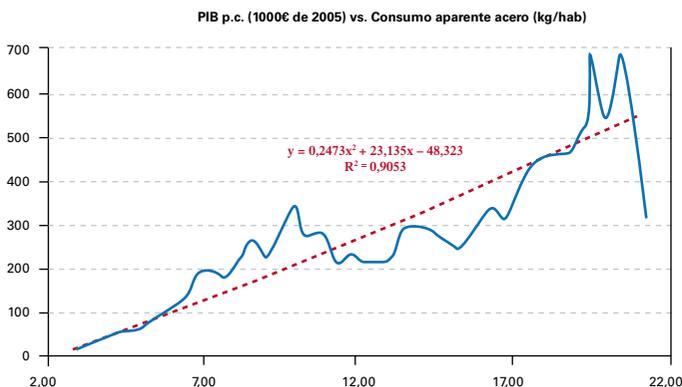


Figura 5. Curva de Kuznets ambiental.
Figure 5. Environmental Kuznets curve.

Según se observa en la Figura 5, la regresión se ajusta lo mínimo considerable a la curva ($R^2 = 0,9053$), lo que valdría para validarla. Esta fórmula polinómica muestra que no existe el mencionado cambio de tendencia de la curva en U invertida de Kuznets, ya que la caída de consumo producida en 2009, originada por la crisis, es un reflejo del descenso del PIB, no significando un cambio de tendencia por madurez ambiental (Esa caída coincide con la caída consumo hormigón de un 30%, UNESID, 2009).

Prados de la Escosura indicaba cómo en España una evolución tan llena de desigualdades mostraba la forma de una “W” invertida con picos en 1918 y en 1953 y que pudieran ser parte de una mayor curva de Kuznets rota por la Guerra Civil y la autarquía posterior; el gráfico que representa esas desigualdades junto con los ingresos per cápita es una curva de Kuznets (Prados de la Escosura, 2007).

España alcanzaba el sexto puesto en las economías mundiales según el “*World Investment Report 2009*” (UNCTA, 2009) y, por tanto, alejado de ser un país en

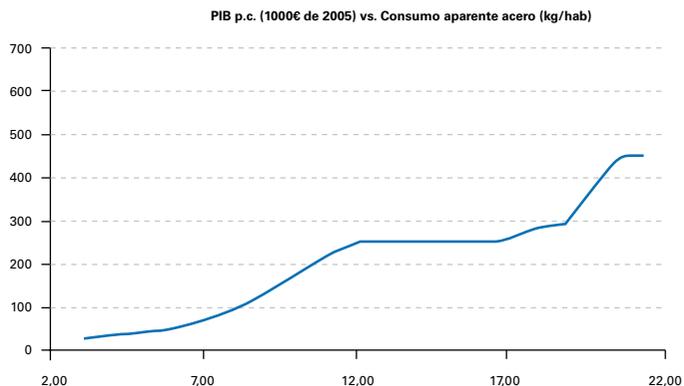


Figura 6. Curva de Kuznets ambiental (media móvil).
Figure 6. Environmental Kuznets curve (changeable medium).

desarrollo. Sin embargo, paradójicamente, se observa cómo la construcción supone más del 12% de la economía española en 2007 (actividad de gran consumo de acero), con un 17% por parte de la industria, suponiendo dentro de ésta, la metalurgia y fabricación de productos metálicos y el material de transporte, más del 25% (*Contabilidad Nacional, INE 2011*).

Dentro de la UE27, la rama de la construcción en España duplica en porcentaje al de Reino Unido o Francia, y triplica a Alemania, siendo inferior a las tres en el sector servicios (incluso siendo Alemania cerca de 10 puntos porcentuales superior en industria). (Eurostat, 2008). Al igual que EE.UU. es un gran consumidor de recursos en comparación con una Europa más consciente, se pueden comparar las cifras españolas de construcción de carreteras, aeropuertos por superficie o habitante, con un país de mayor madurez ambiental como es Alemania.

A pesar de que existe una mejora significativa frente a períodos anteriores, este distanciamiento en la partida del sector servicios continúa situándola como país consumidor de acero en elevadas cantidades para los niveles de PIB per cápita alcanzados.

Ya lo adelantaban Carpintero y Naredo (2007) al indicar que la pérdida de peso económico de la agricultura, la minería y la industria, unida a la creciente terciarización de la economía, no ha originado en nuestro país ninguna desmaterialización de la misma sino que, por el contrario da lugar a una rematerialización continua, mostrando en su desarrollo una eficiencia ecológico-ambiental bastante escasa.

Sin embargo, la madurez ambiental para el caso del acero, en el caso español, se debería analizar a su vez desde otra perspectiva. En efecto, el crecimiento económico español en los años previos a la crisis financiera mundial es parejo al crecimiento en el consumo de acero, debido a un modelo económico basado en la construcción, lo que aleja al país de lo que consideraríamos un desarrollo ambiental logrado en

países de nuestro entorno y que, en principio parecía al analizar las gráficas mostradas, que a partir de los años 70 seríamos capaces de alcanzar.

Se debe tener en cuenta que, en el caso español, una posible reducción del consumo de acero no implica una disminución recíproca en su consumo de mineral de hierro (lo que supondría directamente un menor impacto medioambiental por la menor extracción de mineral, que a su vez se traduciría en un menor consumo energético y de sus emisiones necesarias en minería, mineralurgia, siderurgia y transporte). La explicación radica en que la estructuración de la industria siderúrgica española difiere de la de otros países europeos o del ámbito mundial en que el empleo del horno eléctrico resulta estar cercano al 80% de la producción del acero nacional. Es por tanto, que una reducción cualquiera en el consumo de acero (suponiendo por consumido el producido) influirá en la menor necesidad de mineral de hierro, pero únicamente en un 20%, como corresponde al porcentaje de acero producido directamente con mineral de hierro en la siderurgia integral. El resto (el 80%) de reducción de consumo de acero, afectará a un menor consumo de chatarra en el horno eléctrico que, como reciclado, no necesitará de un aporte de nuevo mineral de hierro (añadiendo a esto la relación 2:1 del mineral de hierro necesario frente al acero producido).

En el resto de Europa, la producción de acero supone en sus dos terceras partes el empleo de la siderurgia integral (horno alto y su posterior descarburación en BOF-LD) y únicamente el tercio restante se emplea para la fabricación de acero eléctrico (EC, 2001). Sin embargo, ya en los años 90, el sector siderúrgico español superaba la mitad de su producción mediante horno eléctrico, alcanzándose a partir de 2003 tasas cercanas al 80% (UNESID, 2008).

Estos datos sugieren que, en el caso español, la aplicación directa la curva de Kuznets para el ahorro de mineral de hierro no deberá observarse desde la visión del consumo de acero, sino desde la perspectiva de la producción siderúrgica.

La curva de Kuznets y la producción nacional de acero

Resulta interesante entonces, considerar la estructura siderúrgica existente en la fabricación del acero nacional (relación siderurgia integral-horno eléctrico) para poder entender así el impacto ambiental motivado por las variaciones en la tendencia del consumo de acero o su producción. Se analizará, empleando de nuevo como herramienta la curva de Kuznets, la ma-

durez ambiental de nuestro país en cuanto al volumen de producción de acero (y de necesidad de mineral) frente al crecimiento económico nacional, pero desde una perspectiva empleada más habitualmente en otras actividades para esta curva: la de las emisiones de CO₂ a la atmósfera.

| Año | kt | Año | kt | Año | kt |
|------|-------|------|--------|------|--------|
| 1895 | 100 | 1960 | 1.919 | 1979 | 12.250 |
| 1929 | 1.022 | 1961 | 2.339 | 1980 | 12.670 |
| 1943 | 676 | 1962 | 2.311 | 1981 | 12.890 |
| 1944 | 657 | 1963 | 2.765 | 1993 | 12.960 |
| 1945 | 576 | 1964 | 3.150 | 1994 | 13.445 |
| 1946 | 641 | 1965 | 3.515 | 1995 | 13.802 |
| 1947 | 608 | 1966 | 3.847 | 1996 | 12.154 |
| 1948 | 624 | 1967 | 4.512 | 1997 | 13.683 |
| 1949 | 720 | 1968 | 5.083 | 2000 | 15.874 |
| 1950 | 815 | 1969 | 5.892 | 2001 | 16.404 |
| 1951 | 818 | 1970 | 7.394 | 2002 | 16.408 |
| 1952 | 904 | 1971 | 8.025 | 2003 | 16.407 |
| 1953 | 897 | 1972 | 9.516 | 2004 | 17.684 |
| 1954 | 1.100 | 1973 | 10.808 | 2005 | 17.904 |
| 1955 | 1.213 | 1974 | 11.476 | 2006 | 18.401 |
| 1956 | 1.243 | 1975 | 11.098 | 2007 | 18.999 |
| 1957 | 1.346 | 1976 | 10.980 | 2008 | 18.640 |
| 1958 | 1.560 | 1977 | 11.170 | 2009 | 14.362 |
| 1959 | 1.823 | 1978 | 11.340 | | |

Tabla 2. Producción de acero en España (1895-2009). E.P. (J. Alzugaray, 1973, Escudero, 1999, Díaz Morlan, 2008, UNESID, 2011).

Table 2. Steel production in Spain (1895-2009), E.P. (J. Alzugaray, 1973, Escudero, 1999, Díaz Morlan, 2008, UNESID, 2011).

Por tanto, el análisis derivado resultará ser la aplicación de la curva de Kuznets ambiental para las emisiones de CO₂ producidas en los dos procesos de fabricación de acero empleados en nuestro país. El volumen de estas emisiones aportará información sobre la cantidad de acero necesario por la marcha del país, así como el peso de cada proceso siderúrgico en la fabricación del acero. De este modo, el resultado mostrado por la curva servirá para poder analizar el grado de desarrollo ambiental de nuestro país como consumidor y productor de acero

El sector del metal resulta estratégico para nuestro país, evolucionando de la célebre frase "Acero británi-

co, mineral español”, a la nula extracción de mineral de hierro, con un aumento del porcentaje de las exportaciones de acero (en el año 2008 se importaron casi 6,5 Mt de mineral de hierro, se exportaron 9,2 Mt de acero y se importaron alrededor de 11,6 Mt, diferencia que supone un 10% de la producción total de acero). (UNESID, 2011).

Obviando en nuestra hipótesis las diferencias entre importación–exportación de acero, se considerará una relación directa en flujo de materia, entre lo producido y lo consumido.

El horno eléctrico es, por definición, un gran consumidor de energía eléctrica, necesitando emplear 1.800 MJ/t de acero fundido (EC, 2001). Será necesario entonces, estudiar el mix energético de generación del país en cada uno de los años de producción, para así conocer las emisiones unitarias de CO₂ que el país necesitará emitir para su producción de acero.

El balance de masas a tener en cuenta considerará que la chatarra empleada en el horno eléctrico, lejos de considerarse un residuo, supone una cantidad de mineral de hierro que no deberá ser extraído ni fabricado.

Sin embargo, en el caso del horno alto, se deberán contemplar las emisiones producidas en la extracción del mineral, en la mineralurgia y en la siderurgia integral. Únicamente en la siderurgia integral, el horno alto emite 500 kg CO₂ por tonelada de acero fundido, empleando menos de 20GJ para la obtención de una tonelada de acero (energía eléctrica 300 MJ/t de arrabio). El BOF emite 140 kg CO₂/t de acero fundido, empleando 120 MJ eléctricos por tonelada de acero fundido. Las necesidades para la preparación del coque para el horno alto son: 170 MJ eléctricos/t coque (aparte de los 3.900 MJ/t coque de gas de horno alto y COG), con unas emisiones de 200 kgCO₂/t acero fundido). La preparación del sinter emplea 1.480 MJ/t de sinter con un consumo eléctrico de 105 MJ/t sinter, con unas emisiones de CO₂ de 240 kg/t acero fundido (EC, 2001).

Resumiendo, en la siderurgia integral se emiten alrededor de 1.080 kg CO₂ por tonelada de acero fundido. A eso se deberán añadir las correspondientes al mix energético del momento para los 695 MJ/t acero por el empleo de energía eléctrica.

A esto añadiremos las emisiones de minería para la extracción del mineral de hierro y su mineralurgia, que suponen (para el caso de una taconita) unas emisiones de 3 kg CO₂/t mineral, que significarán para una relación 2:1 con la producción de acero, alrededor de 6 kg CO₂/t acero fundido (de la Torre, 2010).

Por tanto, considerando todas las operaciones necesarias para conseguir una tonelada de acero, las

emisiones suponen un total de 1.090 kg CO₂, debiéndose incluir la parte correspondiente al mix energético anual del país de la parte con empleo de energía eléctrica (no se tendrá en cuenta el transporte de mineral a la península en cuanto a emisiones de CO₂ por la gran diferencia en distancias entre los yacimientos en el mundo).

La gráfica siguiente muestra los datos calculados de emisiones totales de CO₂ producidas en la fabricación de acero en el país a lo largo de los años, según el PIB alcanzado en cada período.

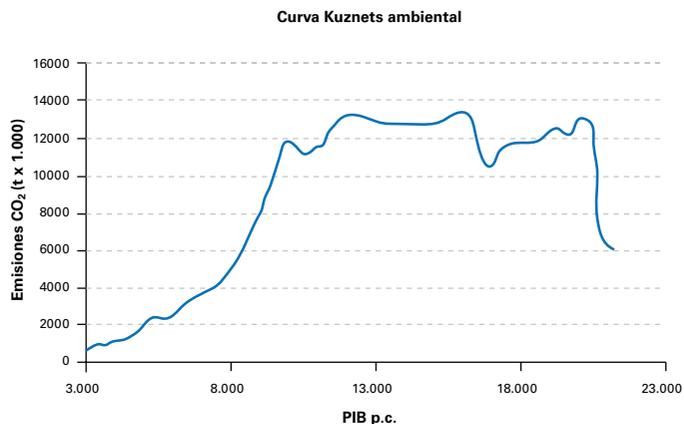


Figura 7. Curva de Kuznets ambiental: Emisiones CO₂ vs. PIB. España.

Figure 7. Environmental Kuznets curve: CO₂ emissions vs PIB. Spain.

Observando el gráfico anterior, se consigue interpretar de qué manera, según avanza el crecimiento económico de un país, aumentan simultáneamente la producción y el consumo de acero. Sin embargo, en el caso de países desarrollados, puede ocurrir que llegue un momento en que a pesar de mantener continuamente un aumento de producción de acero, las emisiones disminuyan paulatinamente. Este es el resultado mostrado por la curva de Kuznets.

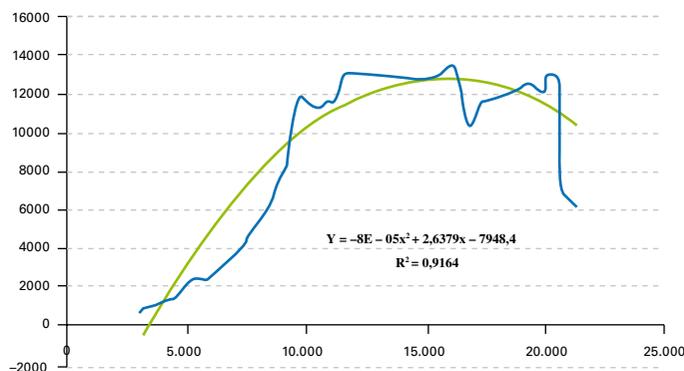


Figura 8. Curva de Kuznets ambiental.

Figure 8. Environmental Kuznets curve.

Se ha observado que tal como los ingresos aumentan, la degradación ambiental alcanzará un punto de inflexión a partir del cual la calidad medioambiental mejorará, siguiendo el proceso una curva en forma de "U" invertida (curva de Kuznets). De nuevo observamos en esta curva, cómo para que aparezca la curva en forma de "U" invertida en la relación entre x e y (ec. 1), los coeficientes deberán cumplir que $b_1 > 0$ y $b_2 > 0$, como así ocurre.

Conclusiones

En la curva de Kuznets que relaciona el desarrollo económico con la situación ambiental de un país, se aprecian en el modelo propuesto por su autor las etapas de crecimiento de su economía, el alcance de su plenitud y la madurez del ciclo, observando los efectos ambientales ligados a su desarrollo. En su aplicación al caso del consumo de acero en España, se interpreta que lo que aparenta una disminución paulatina de dicho consumo hacia una mayor madurez ambiental, viene desmentido por el modelo de la curva de Kuznets. Una vez recuperada la tendencia de crecimiento económico del país, igualmente se ve recuperado el aumento en el consumo de acero, tendiendo a alcanzar y superar la pendiente de crecimiento del PIB.

Sin embargo, al observar la producción de acero del país, se observa cómo resulta de plena aplicación la curva de Kuznets, al resultar la gráfica una "U" invertida que explica cómo paralelamente a la mejora económica del país, disminuyen las emisiones de CO₂ en la fabricación de acero (a pesar del incremento en el volumen de fabricación). La ventaja radica en el elevado empleo del horno eléctrico que logra evitar la extracción de nuevas cantidades de mineral de hierro, y en el uso de energía eléctrica en un país donde las energías renovables cobran peso con rapidez.

Esto debe hacernos considerar la necesidad de perseverar en la mejora del uso de recursos minerales, explotando las posibilidades del reciclaje como "fuente de nuevos recursos", así como en el uso de las tecnologías más apropiadas, de manera que paulatinamente seamos capaces de lograr el grado de madurez ambiental alcanzado por otros países de nuestro entorno.

Referencias

Alzugaray, J.J. 1973. Panorama del desarrollo siderúrgico español, *Dyna*, 12.
Arrow, K., Bolin, B., Costanza, R. and Dasgupta, P. 1995. Economic Growth, Carrying Capacity, and the Environment. *Science*, 268, April.

Beckerman, W. 1992. Economic growth and the environment: whose growth? Whose environment? *World Development*, 20, 481-496.
Bringezu, S., Schtz, H., Steger, S. and Baudisch, J. 2004. International comparison of resource use and its relation to economic growth. The development of total material requirement, direct material inputs and hidden flows and the structure of TMR. *Ecological Economics*, 51, 97-124.
Carpintero, O. y Naredo J.M. 2007. El metabolismo de la economía española. Flujos de energía, materiales y su incidencia ecológica. *Centro de Investigación para la Paz*, 2004, 321-349.
Constantini, V. and Monni, S. 2008. Environment, human development and economic growth. *Ecological Economics*, 64, 867-880.
Cole, M. and Raynor, A. The Environmental Kuznets Curve: An empirical analysis. *Environ. Devel. Econ.*, 2(4), 401-416.
Culas, R. 2007. Deforestation and environmental Kuznets curve: an institutional perspective. *Ecological Economics*, 61, 429-437.
De la Torre, L. 2010. El protagonismo de la energía en la clasificación ambiental de los proyectos de minerales de hierro, *XV Congreso Geológico*, Perú.
Díaz Morlan, P., Escudero, A. y Sáez, M.A. 2008. El desmantelamiento de la siderurgia integral del Mediterráneo español (1977-1984). *Revista de Historia Industrial*, 38, XVII, 3.
Esmaili, A. and Abdollahzadeh, N. 2009. Oil exploitation and the environmental Kuznets curve. *Energy Policy*, 37, 371-374.
Escudero A. 1999. Dos puntualizaciones sobre la historia de la siderurgia española entre 1980 y 1930, *Revista de Historia Industrial*, 15.
European Comission 2001. Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC). *Best Available Techniques Reference Document on the Production of Iron and Steel*.
Fernández de Pinedo, E. 2003. Desarrollo Crisis y Reversión de la siderurgia española a través de una empresa Vizcaína, AHV (1929-1996). *Ekonomiaz*, 54.
Federación siderometalúrgica de CC.OO. 1998. Perspectivas de futuro de la industria siderúrgica en España, *Cuadernos de la Federación*, 9.
Friedl, B. and Getzner, M. 2002. Environment and growth in a small open economy: an EKC case-study for Austrian CO₂ emissions. *Diskussionsbeiträge des Instituts für Wirtschaftswissenschaften der Universität Klagenfurt*, Nr. 2002/02, Klagenfurt.
Huang, W. and Lee, G. 2008. GHG emissions, GDP growth and the Kyoto Protocol: A revisit of Environmental Kuznets Curve hypothesis. *Energy Policy*, 36, 239-247.
Holtz-Eakin, D. and Selden, T.M. 1995. Stoking the fires? CO₂ emissions and economic growth. *Journal of Public Economics*, 57, 85-101.
Grossman, G. and Krueger, A. 1991. Environmental Impacts of a North American Free Trade Agreement. *BER Working Paper*, 3914.
Jia, S., Yang, H., Zhang, S. and Wang, L. *Industrial Water Use Kuznets Curve: Evidence from Industrialized Countries and Implications for Developing Countries*, 132(3).
Kauppi, P. et al. 2006. Returning forests analyzed with the forest identity. *PNAS*, 103(46).

- Malembaum, W. 1978. *World Demand for Raw Materials in 1985 and 2000*. Mc Graw-Hill, NY.
- Prados de la Escosura, L. 2007. Inequality, Poverty, And The Kuznets Curve In Spain, 1850-2000, *Working Papers in Economic History*, Universidad Carlos III de Madrid.
- Selden, T. and Song, D. 1994. Environmental Quality and Development: Is There a Kuznets Curve for Air Pollution Emissions? *Journal of Environmental Economics and Management*, 27, 147-162.
- Stern, D. 2003. *The Environmental Kuznets Curve*, International Society for Ecological.
- Statistical Yearbook 2010. *World Steel Association* (World-steel Committee on Economic Studies), Brussels.
- UNCTAD 2009. *World Investment Report*, Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo.
- UNESID 2009. *La industria siderúrgica española en 2009*, Siderurgia '09.
- UNESID 15/06/11, www.unesid.org/documentos/revista/2009/esp/espanola.html
- World Bank 1992. Development and the Environment. *World Development Report 1992*. Oxford, New York, Oxford University Press.

Recibido: mayo 2011
Revisado: junio 2011
Aceptado: julio 2011
Publicado: enero 2012

