

Luis Miguel de Castro Lejarriaga*

CRECIMIENTO ECONÓMICO Y MEDIOAMBIENTE

Este artículo revisa los resultados más importantes que se obtienen al incorporar variables medioambientales a los modelos teóricos de crecimiento económico. Se detallan las condiciones necesarias para que sea factible un crecimiento sostenible, así como las condiciones en que además de factible resulta ser óptimo. Se ofrece asimismo un resumen de los trabajos empíricos asociados a la problemática del crecimiento sostenible.

Palabras clave: medio ambiente, calidad medioambiental, crecimiento económico, desarrollo sostenible, polución.

Clasificación JEL: O40, Q01, Q50, Q56.

1. Introducción

En la sociedad actual hay pocos temas que alcancen un grado de notoriedad tan elevado como el tema del crecimiento sostenible, y que al mismo tiempo sean tan controvertidos. De hecho el comienzo del Siglo XXI está marcado por el gran debate sobre el crecimiento sostenible. Nos preguntamos si la protección del medioambiente es compatible con el crecimiento económico y la variedad de respuestas no sólo es evidente sino que alcanza en algunos casos cimas de disparidad elevadas. Desde los ecologistas radicales, que entienden que el

crecimiento económico lleva a la destrucción de nuestro hábitat, hasta los escépticos más radicales, que entienden que el crecimiento económico es la solución a los problemas medioambientales.

Los hechos que subyacen detrás de este debate explican con claridad el porqué del mismo y su virulencia. La importancia del crecimiento económico en el bienestar de la Humanidad se materializa en aspectos tan esenciales como la esperanza de vida, los descensos en las tasas de mortalidad infantil, las condiciones de salud e higiene, los niveles culturales y otros tantos aspectos que hacen que el nivel de vida que goza cualquier ciudadano medio de los llamados países desarrollados del planeta esté muy por encima de los niveles máximos posibles cien años atrás.

No es fácil, por tanto, renunciar a seguir creciendo en renta y consumo. Al mismo tiempo, el precio que se paga por ello se materializa en aspectos tan esenciales como la pérdida de biodiversidad, la degradación del aire que respiramos, el cambio climático, la deforestación, las amenazas de agotamiento de recursos natura-

* Departamento de Fundamentos de Análisis Económico I. Facultad de Ciencias Económicas. Universidad Complutense de Madrid. Instituto Complutense de Estudios Internacionales.

El autor agradece la financiación recibida para la realización de este trabajo por parte de la Dirección General de Política de Desarrollo (DGPOLDE) del Ministerio de Asuntos Exteriores, en el marco del subproyecto «Desarrollo y calidad ambiental, cambio climático y energías renovables», realizado en el Instituto Complutense de Estudios Internacionales (ICEI).

Versión de noviembre de 2008.

les y, en definitiva, la pérdida de calidad de vida que conlleva una actividad económica cada vez más intensa. Por tanto, es natural que se generen unos niveles crecientes de alarma entre los ecologistas, biólogos y comunidad científica en general que se van transmitiendo al resto de la sociedad.

Por todo ello, crecimiento económico y conservación del medioambiente son aspectos claves de la política económica de los países y objeto de estudio por parte de las instituciones económicas internacionales.

Sin llegar a los límites de radicalidad antes mencionados, podemos identificar dos claras corrientes de opinión que podemos llamar las visiones pesimistas y optimistas. Los pesimistas argumentan que, desde la revolución industrial, la explotación de los recursos naturales y la degradación del medioambiente están creciendo a un ritmo acelerado y el crecimiento de la población agrava el proceso. Aunque el progreso tecnológico alivia el problema, las cifras consideradas en términos absolutos hablan de incompatibilidad entre crecimiento económico y conservación del medioambiente.

Por su parte, los optimistas argumentan que la escasez de alimentos y recursos naturales ha sido siempre contrarrestada por la acumulación de conocimientos y los aumentos de eficiencia en los procesos agrícolas e industriales y no ven razones para pensar que esto deba cambiar. Si no hay límites en la creación de ideas, el crecimiento sostenible se puede conseguir.

No es de extrañar, por tanto, el creciente esfuerzo de investigación que se viene realizando en los últimos 50 años en muchos ámbitos de la ciencia y en particular en el que nos ocupa ahora que es el de la ciencia económica. Se trata de establecer bajo qué condiciones es factible un crecimiento económico continuado que mejore o, en el peor de los casos, no deteriore los niveles de calidad medioambiental de la situación de partida. Éste es el tipo de crecimiento que ha dado en llamarse crecimiento sostenible.

Es conveniente aclarar, antes de seguir, que estas investigaciones no están ni a favor ni en contra del crecimiento económico. El objetivo no es garantizar la exis-

tencia de crecimiento sostenible, sino estudiar bajo qué condiciones es factible alcanzar un crecimiento sostenible y si ese crecimiento es óptimo desde la perspectiva de una función de bienestar social. El propósito es elucidar si la protección medioambiental es compatible con el crecimiento económico y si es posible seguir creciendo en el futuro sin aumentar la degradación del medio ambiente.

En paralelo a la investigación teórica se han ido desarrollando estudios empíricos, que se han centrado casi exclusivamente en estudiar la relación entre diversos indicadores de situación o calidad medioambiental y la renta per cápita. El objetivo principal de estos trabajos iniciados a principios de los años noventa es verificar la llamada hipótesis EKC (*Environmental Kuznets Curve*). Esta hipótesis indica que a medida que crece la renta per cápita los niveles de degradación medioambiental van aumentando hasta llegar a un punto máximo a partir del cual la tendencia se invierte.

También los estudios empíricos relacionados con la medida del crecimiento económico y en especial del PNN (Producto Nacional Neto) o renta se han actualizado para incluir variables medioambientales y, al mismo tiempo, se ha visto la necesidad de adoptar nuevas medidas que puedan explicar mejor que el PNN la situación de los países en términos de bienestar presente y de posibilidades futuras.

2. Crecimiento y desarrollo sostenible

Antes de revisar las condiciones requeridas en los diferentes modelos para alcanzar un crecimiento sostenible, conviene detenerse en exponer la terminología utilizada en la literatura a fin de precisar los términos que vamos a emplear de ahora en adelante.

Los modelos de crecimiento económico analizan la situación de equilibrio que se alcanza a largo plazo y que se conoce como estado estacionario. En dicho estado las principales variables, y en especial la renta per cápita, varían a una tasa constante que puede ser positiva, cero o negativa. En caso de que dicha tasa sea

positiva hablamos de crecimiento sostenido a largo plazo.

El concepto de crecimiento económico sostenible se corresponde con el de un crecimiento sostenido que, además, ha de cumplir ciertos requisitos relacionados con las variables medioambientales que se introducen en los modelos de crecimiento económico y que responden a los procesos ecológicos considerados. La cuestión es cómo alcanzar un crecimiento sostenido teniendo en cuenta la limitación de los recursos naturales así como la calidad del medioambiente. El concepto de crecimiento económico sostenible forma parte de otro más general que conocemos como desarrollo sostenible.

El desarrollo sostenible es un concepto interdisciplinario y que, por tanto, tenemos que adaptar a nuestro campo de estudio. Este desarrollo tiene en cuenta no sólo aspectos económicos, sino también aspectos biológicos, ecológicos, sociales, culturales, etcétera. Como punto de partida se utiliza la definición dada por la llamada Comisión Brundtland¹, que establece como desarrollo sostenible aquel que cubre las necesidades de las generaciones actuales sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para alcanzar sus propias necesidades. En la introducción de dicho informe se menciona la necesidad de alcanzar una nueva era de crecimiento económico que sea sostenible tanto desde un punto de vista social como medioambiental. Pero ésta es una definición demasiado general para ser operativa y como resultado de ello los distintos autores han ido estableciendo sus propias definiciones. De acuerdo con Smulders (1999) el concepto de sostenibilidad tiene dos significados. Por un lado, requiere que los ecosistemas no se deterioren con el paso del tiempo (sentido ecológico) y, por otro, que el bienestar o utilidad de los agentes no disminuya (sentido económico).

Por otra parte, las diferencias entre economistas de la economía ecológica, por un lado, y los de la economía ambiental, por otro, han dado lugar a la aparición de los conceptos de sostenibilidad fuerte y débil. Y aunque no hay unanimidad en el significado de estos términos se acepta generalmente que la diferencia reside en la capacidad de sustituir recursos naturales por capital económico, entendido éste en un sentido amplio, es decir, incluyendo capital físico, humano, social e intelectual. La sostenibilidad en sentido débil se basa en la hipótesis de que esta sustitución es posible. En cambio, la sostenibilidad en sentido fuerte establece la existencia de recursos vitales que no son sustitutivos sino complementarios.

A efectos de su utilización en el análisis de los modelos de crecimiento, Smulders (2000) considera que la sostenibilidad en sentido fuerte supone que el nivel de calidad medioambiental (que es un índice que incluye tanto recursos naturales como condiciones medioambientales relacionadas con la contaminación, biodiversidad y, en general, situación de los ecosistemas) no disminuye en el tiempo, mientras la sostenibilidad en sentido débil permite que disminuya la calidad medioambiental con el consiguiente deterioro del bienestar social, a condición de que los incrementos de capital impidan que los niveles de utilidad puedan decrecer.

Como veremos posteriormente hay modelos que no utilizan el concepto de utilidad. Para ese tipo de modelos, Brock y Taylor (2004) definen crecimiento sostenible como aquella senda de crecimiento equilibrado donde la calidad medioambiental crece al mismo tiempo que lo hace la renta per cápita².

En resumen, podríamos decir que el crecimiento económico sostenible es uno de los aspectos del desarrollo sostenible y que añade requerimientos adicionales al crecimiento sostenido. Este último supone un incremento en el tiempo de la renta per cápita. Para que sea sostenible se

¹ La Asamblea General de las Naciones Unidas establece en 1983 la Comisión de Desarrollo y Medio Ambiente presidida por la noruega Gro Harlem Brundtland. La Comisión presentó su informe en 1987 y desde entonces la definición dada de desarrollo sostenible es con mucho la más mencionada y utilizada.

² Una vez que la economía alcanza su estado estacionario (equilibrio a largo plazo) queda atrapada para siempre en esa situación. La trayectoria que sigue a partir de ese momento se denomina la senda del crecimiento equilibrado.

requiere que dicho incremento vaya acompañado de un no decrecimiento de la calidad medioambiental (sostenibilidad fuerte) o que si la calidad medioambiental decrece, la pérdida de utilidad o bienestar social asociado a dicho decrecimiento se vea compensada a través de incrementos de bienes de capital económico (sostenibilidad débil).

3. Modelos de crecimiento económico y medioambiente

El estudio del crecimiento económico ha dado lugar a un área bien establecida dentro de la teoría económica y de los estudios econométricos desde que, a finales de los años cincuenta del pasado siglo, se publicaran los trabajos de lo que hoy conocemos como el modelo neoclásico de crecimiento. Estos modelos, basados en un proceso de acumulación de capital, no tenían en cuenta el uso de los recursos naturales y los impactos de la actividad económica en el medioambiente. En general, podemos decir que la teoría económica del crecimiento no tiene en cuenta los costes de alcanzarlo, tanto si son medioambientales como de tipo social, cultural, etcétera.

Aunque la preocupación sobre los impactos de la economía sobre la naturaleza ha estado presente en casi todas las épocas de nuestra historia, no es hasta la década de los años sesenta del Siglo XX cuando comienzan a aparecer en Estados Unidos, Suecia, Alemania, y luego en el resto de países, las primeras leyes relativas a la calidad del aire y de las aguas tanto continentales como marinas. Pero el impacto que estas medidas podían suponer sobre el crecimiento económico no comenzó a estudiarse hasta dos décadas más tarde³.

Los modelos de crecimiento están basados en una o varias funciones de producción (modelos de un sector o

de varios sectores), una función de utilidad individual que es la base de una función de bienestar social y una o varias ecuaciones de acumulación que nos dan la dinámica del sistema.

La incorporación de variables medioambientales se ha realizado en varias etapas. Los primeros trabajos que intentaron establecer las relaciones entre crecimiento económico y medioambiente se ocuparon de los recursos no renovables. En los años setenta la preocupación fundamental era la posibilidad de agotamiento de los recursos naturales, en parte debido al problema planteado en el libro *Los límites del crecimiento*, que alertaba sobre la posibilidad de que la sobreexplotación de recursos naturales asociada a un fuerte incremento de la población condujera al colapso de la economía y de la propia existencia de la especie. Estos recursos se incorporaron a la función de producción neoclásica y se establecieron ecuaciones dinámicas para analizar la evolución de los *stocks* de este tipo de recursos.

La publicación académica *Review of Economic Studies* celebró un *symposium* en 1974 que supuso el comienzo de la literatura de la teoría neoclásica de crecimiento con recursos naturales y demostró una serie de resultados que mostraremos en el siguiente apartado, donde es posible un crecimiento sostenible bajo ciertas condiciones. Y, además, mostró la posibilidad de que el crecimiento fuera óptimo pero no sostenible.

En la medida en que los recursos naturales son bienes privados, se encuentran sujetos a las leyes del mercado, donde los precios son un indicador de los niveles de escasez. Las subidas de precios hacen retroceder a la demanda mientras que estimulan una oferta adicional, además de incentivar la inversión en productos sustitutos. El *shock* del año 1973 puso en marcha estos mecanismos y se ha constatado que los niveles de energía consumida por unidad de *output* han descendido de forma significativa en tanto que las reservas de petróleo son hoy muy superiores a las estimadas en dicho año a pesar del consumo durante este período.

La investigación no ha cesado de incrementarse, tanto en lo que se refiere a la utilización y adaptación de los

³ La publicación en 1962 del libro *Silent Spring* de Rachel CARSON, donde se trataban las consecuencias que el uso de pesticidas y otros productos tóxicos podían tener sobre la vida de animales y plantas e incluso para el hombre, fue una llamada de atención que llegó a la opinión pública y uno de los primeros trabajos de alta repercusión. Pero fue la aparición del libro *Los límites de crecimiento*, de MEADOWS *et al.*, en 1972, el que provocó la gran controversia.

diversos modelos de crecimiento, como a la ampliación de los aspectos medioambientales incluidos en dichos modelos.

Fue en los años ochenta cuando comenzaron a publicarse noticias sobre los niveles de CO₂ en la atmósfera. La Agencia de Protección del Medio Ambiente en Estados Unidos alertaba sobre el llamado efecto invernadero, preludio de lo que hemos identificado después como cambio climático. Ahora la conexión entre crecimiento económico y degradación medio ambiental se mostraba de forma directa.

En los años noventa la atención se había desplazado desde los recursos naturales a la degradación medioambiental en general y a las emisiones de gases contaminantes en particular. El paso de los modelos de recursos naturales a modelos de polución supone algo más que un simple cambio de variables. Pasamos a considerar bienes públicos y aparecen externalidades negativas que dan lugar a fallos de mercado. Ahora hay que comparar el equilibrio que obtienen los agentes que maximizan sus funciones de utilidad y producción, considerando los niveles de polución como dados, con el llamado óptimo social que establece un planificador que tiene en cuenta los costes sociales de la degradación medioambiental.

4. Modelo neoclásico de crecimiento⁴

El modelo básico de la teoría neoclásica de crecimiento es el modelo de Solow-Swann. En este modelo se consideran las siguientes relaciones:

⁴ En lo que sigue a continuación utilizamos la notación tradicional de la teoría de crecimiento económico. Las variables expresadas con letras minúsculas indican la misma variable que las expresadas con mayúsculas, pero en términos per cápita. De manera que si la renta es Y , la renta per cápita es y . Al mismo tiempo, las variables que llevan un punto encima indican su derivada con respecto al tiempo, y la letra γ con un subíndice indica el crecimiento de la variable que figura en dicho subíndice. Así:

$$\dot{K} = \frac{dK}{dt}; \gamma_K = \frac{\dot{K}}{K}$$

Función de Producción Neoclásica:

$$Y(t) = F(A(t), K(t), L(t))$$

Ecuación dinámica de acumulación de capital:

$$\dot{K} = \frac{dK}{dt} = I - \delta K = sY - \delta K$$

Otras relaciones dinámicas:

$$\dot{L} = nL; \dot{A} = gA$$

Donde $K(t)$ representa el capital en el instante t , $L(t)$ es el factor trabajo, $Y(t)$ es el producto de la economía, I es la inversión y S es el ahorro. La propensión marginal al ahorro es constante y se denota por s . El capital se deprecia a una tasa constante δ . La población crece a una tasa exógena n . El progreso tecnológico es exógeno y está representado por $A(t)$. Crece a una tasa constante g . Las tres hipótesis básicas de este modelo se expresan de la siguiente manera: Economía cerrada ($S = I$); Equilibrio en los mercados ($Y = C + I$), y Tasa de ahorro constante ($S = sY$).

Esta función de producción neoclásica establece que el producto de la economía se obtiene a partir de los factores de producción, capital y trabajo, a través de una tecnología que presenta rendimientos constantes a escala en el conjunto de factores, pero rendimientos decrecientes en cada uno de esos factores considerados aisladamente. Esto supone que a largo plazo (horizonte infinito) la acumulación de capital hace descender su productividad marginal, que al límite se hace prácticamente cero⁵.

⁵ Que los rendimientos de escala sean constantes significa que la producción crece en la misma medida en que crecen los factores. Es decir que si, por ejemplo, duplicamos la cantidad empleada de ambos factores se duplica el producto. Si un factor considerado aisladamente presenta rendimientos decrecientes significa que al aumentar la cantidad empleada de este factor manteniendo el otro factor constante obtenemos un aumento de producto; pero los sucesivos aumentos del factor suponen un aumento de producto que es cada vez menor.

El equilibrio de este modelo es único y estable. El resumen de los principales resultados es el siguiente:

a) En ausencia de progreso tecnológico y con una población constante, la tasa de crecimiento a largo plazo de capital y producto (renta) es cero.

b) Si la población crece a una tasa n , tanto capital como producto crecen a dicha tasa, mientras que el crecimiento del producto o renta per cápita es nulo.

c) Si existe una tasa de crecimiento del progreso tecnológico, la renta per cápita crece a dicha tasa.

Por tanto, este modelo presenta crecimiento sostenido si existe una tasa positiva de crecimiento del progreso tecnológico. Para analizar el crecimiento sostenible existen dos enfoques alternativos, que exponemos a continuación.

Recursos naturales

Consideramos una función de producción neoclásica donde aparecen dos nuevos factores de producción. Uno es el suelo (T), que tiene crecimiento cero, y otro son los recursos naturales no renovables (R), que decrecen a una tasa b que es la tasa de extracción. Las ecuaciones del modelo son:

$$Y = F(K, A, L, R, T)$$

$$\dot{K} = sY - \delta K$$

$$\dot{L} = nL$$

$$\dot{A} = gA$$

$$\dot{R} = -bR; b > 0$$

Este modelo presenta una senda de crecimiento equilibrado. En el estado estacionario la renta per cápita crece de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\gamma_y = \frac{1}{Y - F_K K} [F_{AL} ALg - F_R R(b + n) - F_T Tn]$$

Es decir, que la tasa de crecimiento de la renta per cápita (y) puede ser positiva o negativa según el signo del

término entre paréntesis. El progreso tecnológico es el motor del crecimiento. Aquí AL representa unidades efectivas de trabajo y F_{AL} la productividad del trabajo medido en unidades efectivas. Las cantidades decrecientes de suelo per cápita y de recursos naturales per cápita van drenando el crecimiento.

Aquí aparece una de las cuestiones centrales del crecimiento sostenible. La clave es la elasticidad de sustitución entre los factores de producción. Si la elasticidad es igual a 1 (funciones *Cobb-Douglas*) o mayor que uno, el crecimiento sostenible es factible. Pero si la elasticidad es menor que uno, la escasez de factores acaba con el crecimiento. En el caso extremo de la llamada función de Leontief, donde los factores no tienen ninguna posibilidad de sustitución, la renta per cápita a largo plazo se reduce a una tasa $(b+n)$. Ésta es la función que respondería a las hipótesis ecologistas y que da lugar al concepto de sostenibilidad fuerte.

Si los recursos naturales están limitados, el crecimiento sostenido sólo puede lograrse a través del progreso tecnológico de forma que sea posible obtener un *output* cada vez mayor de una cantidad fija o incluso decreciente de *inputs* naturales. Eso deja reducido el debate a considerar los límites del progreso tecnológico y del conocimiento científico.

Modelo neoclásico con polución

Hay dos formas básicas de incorporar la polución en los modelos de crecimiento económico. Una es considerarla un factor de producción con una productividad marginal positiva. Esto significa que las producciones menos contaminantes son más costosas. La otra forma de incorporación supone que la polución es un coproducto del bien que se fabrica y, por tanto, a medida que crece el producto lo hacen las emisiones contaminantes.

Siguiendo a Smulders (2000) consideramos un modelo neoclásico con la función de producción $Y = F(A, L, K, P, N)$ donde K y L representan capital y trabajo, A es un nivel de progreso tecnológico general (conocido en la literatura como *total factor productivity*) y P y N son las

variables medioambientales del modelo. Por un lado, P representa la polución, o si se quiere el volumen o flujo de emisiones, y N es el nivel de calidad medioambiental, que es también un factor de producción en la medida en que la naturaleza proporciona servicios.

Ambas variables están relacionadas por la siguiente ecuación dinámica que expresa el proceso ecológico que tiene lugar en la naturaleza:

$$\dot{N} = E(N) - P$$

Esta ecuación significa que la calidad medioambiental varía como consecuencia de un efecto negativo (emisiones contaminantes) y un efecto positivo que es la propia capacidad regenerativa de la naturaleza que representamos por $E(N)$, pues esta capacidad depende del nivel medioambiental. Suponemos que esta capacidad regenerativa se emplea tanto para mantener la calidad del ecosistema como para eliminar la polución. De esta forma, cuando los niveles de calidad medioambiental son muy bajos la capacidad regenerativa del ecosistema es muy pequeña, pero va creciendo a medida que la calidad medioambiental aumenta. La capacidad regenerativa alcanza un máximo y a partir de ese punto los sucesivos aumentos de calidad medioambiental hacen descender la capacidad de regeneración, pues el ecosistema emplea cada vez más recursos para mantener su elevado nivel de calidad. Y cuando la calidad es máxima, la capacidad de regeneración vuelve a ser mínima.

Las otras dos ecuaciones dinámicas del modelo son:

$$\begin{aligned} \dot{K} &= I - \delta K \\ \dot{A} &= gA \end{aligned}$$

las cuales tienen el mismo significado que en el anterior modelo de recursos naturales. En el estado estacionario la economía presenta crecimiento sostenido a la tasa de progreso tecnológico g , que es exógena al modelo. Las condiciones de crecimiento sostenible vendrán dadas por la condición de crecimiento sostenido (crecimiento a

largo plazo de la renta per cápita) y una calidad medioambiental estable en el tiempo, lo que significa que $E(N) = P$.

Una política económica que pretenda alcanzar un crecimiento sostenible tratará, por tanto, de maximizar la renta per cápita con respecto al nivel de calidad medioambiental. Al aplicar la condición necesaria de maximización de una función se obtiene el siguiente resultado:

$$\begin{aligned} \frac{\partial Y}{\partial N} = 0 &\Rightarrow F_N + F_{E(N)}E_N = 0 \\ -\frac{F_N}{F_{E(N)}} = E_N &\Rightarrow \frac{-F_N \frac{N}{F}}{F_{E(N)} \frac{E(N)}{F}} = E_N \frac{N}{E(N)} \end{aligned}$$

El término a la derecha de la última igualdad es la elasticidad de la función de regeneración. El término a la izquierda es el cociente de dos elasticidades de la función de producción. En el numerador la elasticidad respecto a la calidad medioambiental y en el denominador respecto a la polución (se recuerda que hemos impuesto $P = E(N)$).

Ésta es la llamada regla de oro de la política medioambiental. Esta política determina un único nivel de calidad medioambiental o capital natural, que vamos a llamar N_G .

La interpretación de este importante resultado es como sigue: la tasa de crecimiento es exógena y no puede ser alterada por la política medioambiental, que sólo afecta a los niveles que alcanza la renta per cápita. A corto plazo es evidente que reducir la polución significa reducir la renta. Pero a largo plazo la política medioambiental puede aumentar la renta, si lo que se pierde al disminuir P queda más que compensado por lo que se gana con el correspondiente aumento de N . Esto sucede cuando $N < N_G$, es decir, si la calidad medioambiental es muy baja y la capacidad regenerativa de la naturaleza puede aumentar. En el caso $N > N_G$ la reducción de la polución aumentará la calidad del medioambiente y reducirá la renta.

Cuando consideramos la polución como un coproducto, el modelo alcanza una situación de equilibrio donde

las emisiones contaminantes crecen al mismo ritmo al que lo hace la renta. Esto significa que el crecimiento sostenible no se puede alcanzar. Es necesario introducir en el modelo una actividad que reduzca los niveles de contaminación que se van produciendo. Ahora se puede conseguir un crecimiento sostenible si la tasa de progreso tecnológico de las actividades de eliminación de la contaminación supera la tasa de crecimiento de la renta más la tasa de crecimiento de la población.

En resumen, podemos indicar que el elemento clave para conseguir un crecimiento sostenible es la elasticidad de sustitución tanto en el caso de recursos naturales no renovables como en caso de polución considerada como un factor de producción. Sin embargo, si consideramos la polución como un producto colateral la clave reside en la productividad de las actividades de eliminación.

Este tipo de modelos parece que podría adaptarse a países poco desarrollados económicamente y donde la degradación medioambiental no es la prioridad en el bienestar de los ciudadanos ni en las políticas económicas, pues preocupa más alcanzar niveles superiores de renta y consumo.

5. Modelos de crecimiento óptimo

El anterior modelo nos permite conocer bajo qué condiciones es factible que una economía alcance un equilibrio donde el crecimiento es sostenible. Si además queremos conocer si ese equilibrio es óptimo o si un equilibrio óptimo es sostenible, necesitamos introducir en el modelo una función de utilidad. El modelo que nos va a servir de punto de partida es el modelo RCK de crecimiento óptimo⁶.

⁶ Es un modelo neoclásico de crecimiento óptimo basado en los trabajos de RAMSEY (1928), CASS (1965) y KOOPMANS (1965) que dieron a conocer sus aspectos fundamentales. En estos modelos se añade a la función de producción neoclásica una función de bienestar social que se trata de maximizar a lo largo del tiempo. Es interesante destacar que en este modelo ya están incluidos los dos grandes temas o asuntos del crecimiento sostenible: el bienestar a largo plazo y la

Es un modelo de optimización dinámica donde se maximiza la utilidad de un consumidor representativo que tiene una vida ilimitada, usando las técnicas de la teoría de control óptimo.

Sus ecuaciones fundamentales son:

$$\begin{aligned} y(t) &= f(k(t)) \\ \dot{k}(t) &= y(t) - c(t) - \delta k(t) \\ U &= \int_0^{\infty} e^{-\rho t} u(c(t)) dt \end{aligned}$$

Las dos primeras ecuaciones provienen del modelo anterior, aunque ahora las expresamos directamente en términos per cápita.

La utilidad intertemporal es el valor presente descontado de la suma de la utilidad instantánea en cada momento del tiempo. Para ello se utiliza una tasa de descuento ρ que significa el grado de preferencia temporal o si se quiere la «impaciencia» del consumidor que toma decisiones sobre cuanta renta dedica al consumo y cuanta al ahorro. Por comodidad, en este modelo estudiamos el crecimiento a través del consumo y no de la renta. Los resultados son los mismos.

La utilidad instantánea es una función donde la elasticidad de la utilidad marginal (ε) tiene que ser constante si queremos que exista crecimiento a largo plazo. La ecuación que muestra la tasa de crecimiento del consumo es como sigue:

$$\frac{\dot{c}}{c} = \gamma_c = \frac{1}{\varepsilon} (f'(k) - \delta - \rho)$$

Al igual que en el modelo de Solow, necesitamos que exista progreso tecnológico para obtener crecimiento sostenido. La tasa de crecimiento del consumo será la misma que la tasa de crecimiento de la tecnología.

justicia intergeneracional, aunque no tratan explícitamente los temas medioambientales.

Al igual que hicimos en el modelo neoclásico consideramos por separado recursos naturales y calidad medioambiental.

Crecimiento óptimo con recursos naturales

Los resultados que se obtienen acerca del crecimiento sostenible dependen fundamentalmente de la forma que demos a la función de utilidad. De esta manera podemos encontrar que el crecimiento sostenible sea factible y, sin embargo, no sea óptimo. O también que la impaciencia de los consumidores (tasa de descuento de la utilidad suficientemente elevada) sea tal que resulte óptimo el agotamiento completo de los recursos naturales. Esta fuerte dependencia del modelo de la forma concreta de la función de utilidad es una seria limitación para su aplicación práctica, con independencia de su elevado interés teórico.

Crecimiento óptimo con emisiones contaminantes

Bien el *stock* de polución o las emisiones contaminantes son argumentos de las funciones de producción y de utilidad. En la función de producción se considera un indicador medioambiental como un factor de producción, pues permite considerar al mismo tiempo emisiones y utilización de recursos.

En presencia de externalidades, la situación de equilibrio o estado estacionario de un modelo de crecimiento es distinta según se considere que la optimización la realizan los agentes (consumidores y productores) mediante los mecanismos del mercado, o bien resulta como consecuencia de la existencia de un planificador que busca el óptimo social. En el primer caso hablamos de un modelo de economía descentralizada y en el segundo de un modelo de planificación social⁷.

La calidad medioambiental es un bien público, lo cual está asociado a la aparición de externalidades. Las emisiones contaminantes constituyen un ejemplo de externalidad negativa. Lo cierto es que el mecanismo de los precios no puede hacer nada en temas como cambio climático o biodiversidad o cualquier tipo de emisiones contaminantes, dado que se trata de externalidades negativas. En este caso el equilibrio obtenido en la economía descentralizada es consecuencia del proceso de optimización de los agentes, que toman las emisiones como un dato, mientras que el planificador social toma la polución como una variable que ha de optimizar para conseguir aumentar el bienestar social.

En el modelo RCK los resultados que se obtienen bajo el supuesto de una economía descentralizada dependen de la forma que tenga la función de utilidad, es decir de las preferencias de los agentes.

La tasa de crecimiento del consumo viene dada por:

$$\frac{\dot{c}}{c} = \gamma_c = \frac{1}{\varepsilon} \left(f'(k) - \rho - \delta + \frac{U_{cP}}{U_c} \dot{P} \right)$$

Si consideramos una función de utilidad separable, entonces, si $U_{cP} = 0$, la desutilidad que produce la polución no afecta a la utilidad que produce el consumo de los bienes, y los resultados son los del modelo estándar. El caso más interesante es cuando la utilidad marginal del consumo disminuye al aumentar la polución ($U_{cP} < 0$) pues entonces el crecimiento del consumo va decreciendo a medida que crecen los niveles de polución. La consecuencia es que la tasa de crecimiento de la economía en el equilibrio es menor que en el modelo estándar. En el caso $U_{cP} > 0$ el consumo y la polución crecen indefinidamente dado que la degradación medioambiental no tiene coste alguno para el agente que optimiza.

El planificador social resuelve el siguiente problema de optimización, cuando se considera la polución como un coproducto:

⁷ En general hablamos de externalidades como de aquellos fenómenos donde el mercado no tiene en cuenta las consecuencias sociales de acciones privadas.

$$\begin{aligned} & \text{Max} \int_0^{\infty} U(c, P) e^{-\rho t} dt \\ & \dot{k} = f(k) - c - \delta k \\ & \dot{P} = \varphi Y - mP \end{aligned}$$

Bajo el supuesto de planificación social, el nivel de polución pasa a formar parte del proceso de optimización y en el estado estacionario tanto el nivel del *stock* de capital como el nivel de *stock* de polución son menores. Al introducir un impuesto de emisión óptimo en la economía descentralizada, se obtiene el mismo equilibrio que en el óptimo social. Ahora el crecimiento del consumo es:

$$\frac{\dot{c}}{c} = \gamma_c = \frac{1}{\varepsilon} \left[f'(k) \left(1 + \frac{\lambda \varphi}{U_c} \right) - \rho - \delta + \frac{U_{cP}}{U_c} \dot{P} \right]$$

La comparación con la ecuación obtenida en el equilibrio descentralizado es muy ilustrativa. Entran en acción dos parámetros esenciales. Por un lado $\lambda < 0$, que es el precio sombra del *stock* de polución. Por otro lado φ , que representa la intensidad de las emisiones contaminantes.

El impuesto de emisión óptimo resulta ser:

$$\tau(t) = \frac{-\lambda(t) \varphi}{U_c(c, P)}$$

donde el numerador representa el daño producido por la polución cuando se incrementa el producto en una unidad, mientras el denominador es la utilidad marginal del consumo.

En caso de que consideremos la polución como factor de producción, al igual que hicimos en el modelo de Solow, y hagamos entrar la calidad medioambiental en la función de utilidad, el modelo a resolver sería:

$$\begin{aligned} Y &= F(A, K, L, N, P) \\ W &= \int_0^{\infty} u(C, N) e^{-\rho t} dt \\ \dot{K} &= Y - \delta K - C \\ \dot{N} &= E(N) - P \end{aligned}$$

Aunque en el equilibrio los niveles de polución ya no aumentan, puede ser que se alcance un nivel o *stock* de polución demasiado elevado y, por tanto, una política óptima debe determinar cuál es el nivel de calidad medioambiental a largo plazo. La resolución de este punto nos lleva a la condición siguiente:

$$F_K - \delta = \frac{\dot{F}_P}{F_P} + E_N + \frac{1}{F_P} \left(\frac{U_N}{U_C} + F_N \right)$$

La rentabilidad del capital (lado izquierdo de la igualdad) se iguala a la rentabilidad de la calidad medioambiental, que como se puede ver tiene cuatro componentes, tasa de crecimiento de la productividad marginal de la polución, capacidad de regeneración marginal de la naturaleza, utilidad marginal del medioambiente en relación a la del consumo y relación de productividades marginales de la calidad medioambiental y de la polución.

En estos modelos la tasa de crecimiento sostenido es exógena, pues viene dada por la tasa de crecimiento de la tecnología. Por tanto, la política medioambiental no altera la tasa de crecimiento de la economía y sólo afecta el nivel de las variables en el equilibrio. Al incluir la polución en este modelo los niveles de consumo y acumulación de capital que se alcanzan en el estado estacionario de la economía son menores que los alcanzados en el modelo RCK base.

Como resumen de lo visto en este tipo de modelos, cabe decir que el crecimiento sostenible ha de cumplir los requerimientos del modelo neoclásico para ser factible y, además, será óptimo en la medida en que la función de utilidad de los consumidores sea tal que valoren de forma suficiente la calidad medioambiental con respecto al consumo. El crecimiento sostenible se consigue en el llamado óptimo social. Dadas las externalidades negativas debidas a la degradación medioambiental y las positivas asociadas con el conocimiento intelectual, el equilibrio competitivo (economía descentralizada) no alcanza dicho óptimo y es necesario regular los

mercados para alcanzar el óptimo social, de manera que hay que eliminar las externalidades negativas mediante impuestos sobre las emisiones o permisos canjeables. También se pueden incentivar las externalidades positivas mediante ayudas a las inversiones.

El crecimiento sostenible no es óptimo en modelos donde no hay actividad de eliminación de residuos y contaminación y las emisiones por unidad de *output* permanecen constantes. Se debe a que a medida que se incrementa el *output* se van incrementando las emisiones y la polución se acumula hasta que llega un momento en que el beneficio marginal que supone el crecimiento se anula con el coste o daño producido por la polución. Este resultado es válido en modelos de progreso tecnológico exógeno, tanto si se trata de ahorro fijo o de optimización de ahorros.

Estos modelos parecen adaptados a países desarrollados donde ya existe una preocupación por los aspectos medioambientales y se toman medidas contra la degradación medioambiental, pero no son países líderes en aspectos tecnológicos y, por tanto, el progreso técnico llega a través de los países más avanzados.

6. Modelos de crecimiento endógeno

Los modelos anteriores no permiten por sí mismos un crecimiento sostenido y sólo es posible alcanzar un crecimiento temporal. Se necesita del progreso tecnológico pero se supone que es exógeno, no porque ésta sea una hipótesis realista, sino porque la función de producción neoclásica de rendimientos a escala constantes y en un mercado competitivo reparte toda la renta a los factores (en este caso capital y trabajo) y, por tanto, no permite la posibilidad de financiar las actividades de investigación y desarrollo. De manera que el determinante de la tasa de crecimiento de la economía queda fuera del modelo.

Los modelos de crecimiento endógeno se han desarrollado precisamente para explicar cómo el propio sistema económico financia y retribuye las actividades que son la base del progreso tecnológico. Existen muchos modelos de crecimiento endógeno y diversas clasificaciones de los mismos cuyo detalle queda fuera del al-

cance de este artículo. Nos limitaremos, por tanto, a mencionar aquellos resultados más interesantes desde el punto de vista medioambiental de algunos de los más conocidos y mencionados por la literatura.

Hay dos formas básicas de conseguir un crecimiento endógeno: por un lado, funciones de producción que presenten rendimientos crecientes a escala y, por otro, utilizar la hipótesis de mercados de competencia imperfecta. En estos modelos es compatible el crecimiento económico con la adopción de controles medioambientales estrictos en una situación de óptimo, de ahí la importancia de su estudio.

Rendimientos crecientes a escala

El más básico de este tipo de modelos es el llamado modelo AK. Es un modelo de un sector donde capital físico y trabajo se agregan junto al conocimiento tecnológico en un bien agregado de capital como factor K que presenta rendimientos constantes en lugar de rendimientos decrecientes como sucedía en el modelo neoclásico. La función de producción toma la forma $Y = AK$ o en términos per cápita $y = Ak$. Con una tasa de ahorro constante s y una acumulación de capital como en el modelo de Solow, se alcanza un equilibrio estable donde las tres variables fundamentales renta, consumo y capital per cápita crecen a la misma tasa, que viene representada por:

$$\gamma_c = \gamma_k = \gamma_y = sA - (n + \delta)$$

Y esta ecuación puede tomar cualquier signo, pues en el lado derecho de la última igualdad tenemos cuatro constantes. Nos interesa el caso en que el crecimiento es positivo y hay que notar que en este modelo un aumento de la tasa de ahorro (s) supone un aumento de la tasa de crecimiento de la economía. Si ahora incluimos una función de utilidad como la usada en el modelo RCK llegamos en el óptimo a un crecimiento tal que:

$$\gamma_c = \gamma_k = \gamma_y = \frac{1}{\varepsilon} [A - \rho]$$

Y en el caso $A > \rho$, que es el que nos interesa, el óptimo nos lleva a un crecimiento sostenido de la economía.

La inclusión de recursos naturales supone pasar a un modelo con las siguientes ecuaciones:

$$Y = AKR^v; 0 < v < 1$$

$$W = \int_0^\infty u(C) e^{-\rho t} dt$$

$$\dot{K} = Y - C$$

$$\dot{S} = -R$$

Donde S representa el stock de recursos no renovables y R es la tasa de consumo o agotamiento de estos recursos. La resolución del modelo nos lleva a una situación donde el crecimiento no es sostenible:

$$\gamma_c = \frac{1}{\varepsilon} [AR^v - \rho]$$

$$R \rightarrow 0 \Rightarrow \gamma_c = \frac{1}{\varepsilon} [-\rho] < 0$$

Si los recursos se agotan y no hay posibilidad de sustitución entre factores el crecimiento a largo plazo es negativo.

Por otro lado, la inclusión de emisiones contaminantes sin actividad de eliminación de residuos y contaminación, nos lleva a una situación similar. Aunque el crecimiento sostenible puede ser factible bajo ciertas condiciones, no es óptimo. Si además consideramos que existe un límite máximo de niveles de polución compatible con la supervivencia de las especies, entonces a largo plazo los niveles de polución deben tender a cero y de nuevo se alcanza un crecimiento negativo.

En cuanto a la política medioambiental, hay que notar que en el contexto de los modelos de crecimiento endógeno, a diferencia de lo visto en los modelos de crecimiento óptimo, las tasas de crecimiento quedan afectadas. La utilización de impuestos para incrementar la calidad medioambiental supone una tasa de crecimiento de la economía más baja, sin que nada impida que llegue a ser nula o incluso negativa.

Modelos de competencia imperfecta

Utilizaremos como ejemplo de este tipo de modelos el desarrollado por Aghion y Howitt (1998). Es un modelo de los llamados schumpeterianos, que están basados en la noción de la destrucción creativa, proceso por el cual las viejas tecnologías van quedando obsoletas y dejan paso a nuevos productos y procesos. Aquí se entremezclan la innovación o capital intelectual con la acumulación de capital físico. El proceso de destrucción creativa y la función de producción de bienes finales vienen expresados por las siguientes ecuaciones dinámicas:

$$\dot{B} = \sigma \eta h B$$

$$Y = F(K, BL) = K^\alpha (BL)^{1-\alpha}$$

La evolución del capital intelectual B , es proporcional a la frecuencia con que se producen las innovaciones (η), el trabajo dedicado a investigación (h) y un parámetro que representa el alcance o importancia de cada innovación (σ).

La solución de este modelo nos lleva a un estado estacionario óptimo que presenta un crecimiento sostenido a largo plazo, donde las variables de consumo y ambos tipos de capital crecen al mismo ritmo:

$$\gamma_c = \frac{1}{\varepsilon} (\sigma \eta - \rho) = \frac{1}{\varepsilon} \left(\frac{\alpha Y}{K} - \rho \right); \sigma \eta > \rho$$

La condición para que el término entre paréntesis sea positivo es típica de estos modelos y evita la posibilidad de las llamadas soluciones de esquina donde no se investiga ni se acumula capital.

Si incluimos recursos naturales no renovables, la función de producción, la ecuación dinámica de los recursos y la que refleja el estado estacionario óptimo son ahora:

$$Y = K^\alpha B^{1-\alpha} L^\beta R^v; \alpha + \beta + v = 1$$

$$\dot{S} = -R$$

$$\gamma_c = \frac{1}{\varepsilon} \left(\frac{Y}{K} - \rho \right); 0 < \sigma \eta - \rho < \varepsilon \sigma \eta$$

Para que el término entre paréntesis sea positivo se necesita además de la condición vista anteriormente, que el declinar en el uso de R sea compensado de forma que el cociente Y/K no decrezca y esto sólo es posible si el capital intelectual crece más deprisa que lo hace el capital físico. Éste es el sentido de la desigualdad que aparece a continuación de la ecuación de crecimiento.

Si consideramos emisiones contaminantes como un factor de producción, quedan actualizadas las siguientes ecuaciones:

$$y = K^\alpha (BL)^{1-\alpha} z; z \in [0, 1]$$

$$\dot{E} = -P - \theta E = -z^\gamma - \theta E = -K^\alpha (BL)^{1-\alpha} z^{\gamma+1} - \theta E$$

$$W = \int_0^\infty u(c, E) e^{-\rho t} dt$$

El nivel de polución P es una función de la intensidad de las emisiones (z) y la dinámica de la calidad medioambiental se toma de forma que suponemos que existe un nivel máximo de polución que no se puede sobrepasar, de manera que ahora $E < 0$ representa la distancia entre el nivel de calidad medioambiental y el máximo posible. Y esta distancia no puede sobrepasar un cierto límite. La capacidad regenerativa del ecosistema viene expresada por θ . El estado estacionario óptimo muestra el siguiente crecimiento del consumo:

$$\gamma_c = \frac{1}{\varepsilon} \left[a \frac{\gamma}{\gamma + 1} \frac{Y}{K} - \rho \right]$$

$$\frac{Y}{K} = \left(\frac{BL}{K} \right)^{1-\alpha} z$$

Aunque el crecimiento es similar en su formulación al obtenido en el modelo AK anterior, ahora sí es posible el crecimiento sostenible siempre que se cumplan una serie de condiciones. En el modelo AK cuando z tiende a cero Az tiende a cero y el crecimiento sostenible no era posible. Ahora esto se evita en la medida en que B crezca suficientemente por encima de K para compensar el

declinar de z . Se tienen que dar las siguientes condiciones para obtener un crecimiento sostenible:

- a) La elasticidad de la utilidad marginal del consumo ha de ser mayor que la unidad
- b) La condición para evitar la solución de esquina que ya hemos visto anteriormente ($\sigma\eta > \rho$)
- c) La elasticidad de sustitución intertemporal en el consumo tiene que ser menor que la unidad.

Estas condiciones son más restrictivas que las impuestas en el modelo de recursos naturales. Quiere esto decir que el problema de conseguir un crecimiento sostenible no es tanto la limitación de recursos naturales como la existencia de emisiones contaminantes y la degradación medioambiental. En este sentido hay que notar que es crucial el hecho de que la producción de conocimientos es más respetuosa con el medioambiente que la producción de bienes de capital.

Como conclusión para este tipo de modelos se puede decir que si las actividades de eliminación de contaminación y residuos desarrollan tecnologías limpias que reduzcan el coeficiente de emisiones, es posible alcanzar un crecimiento sostenible que dependerá básicamente de la productividad de dicha actividad. Si los rendimientos en este sector son decrecientes no es posible obtener un crecimiento económico a largo plazo sin evitar un nivel de polución cada vez más elevado (coeficiente de emisiones constante). El crecimiento sostenible exige rendimientos constantes o crecientes a escala en este sector.

Es también posible el crecimiento sostenible en modelos de crecimiento endógeno donde el capital intelectual tiene características de bien público. Bajo ciertos requisitos en preferencias y tecnología se llega a un crecimiento donde la polución disminuye y la calidad medioambiental aumenta. Si esta última tiene efectos positivos en la productividad es posible que una política medioambiental que soporte el óptimo social pueda además incrementar el crecimiento. Se necesita que el efecto sobre la productividad sea suficientemente elevado.

Al igual que sucede en los modelos de crecimiento exógeno óptimo, sin intervención en los mercados, la

polución crece sin límite, pues los productores no internalizan los costes sociales de la degradación medioambiental. Los resultados en cuanto a las condiciones para que un crecimiento sostenible sea factible u óptimo son similares a los obtenidos en los modelos exógenos.

Donde se produce una variación fundamental es en los aspectos de política económica, debido al hecho de que ahora los niveles de investigación y, por tanto, de progreso tecnológico se determinan dentro del modelo. Las decisiones de inversión y su reparto entre actividades productivas y actividades de eliminación de residuos y contaminación pueden estar influidas por las políticas medioambientales. Es en este campo donde el trabajo académico está siendo enfocado en la actualidad.

Es claro que este tipo de modelos está adaptado para los países más avanzados, donde se generan los avances científicos y tecnológicos fundamentales.

7. Estudios empíricos

Como hemos visto, los modelos que estudian la relación entre crecimiento económico y medioambiente han partido de los modelos y teorías generales y han generado casos particulares introduciendo variables y procesos medioambientales en dichos modelos. Sin embargo, los estudios empíricos se han apartado de esta línea y se han centrado casi exclusivamente en verificar una hipótesis conocida como EKC (*Environmental Kuznets Curve*)⁸.

La curva EKC

La hipótesis EKC sugiere que la relación entre renta per cápita y degradación medioambiental no es monóto-

⁸ Toma su nombre de la curva que Kuznets estableció para relacionar niveles de renta y de desigualdad en la distribución de la misma. La hipótesis de Kuznets establece que a medida que aumenta la renta per cápita los niveles de desigualdad primero aumentan y luego a partir de un cierto nivel comienzan a disminuir.

na sino que es positiva en las primeras etapas del crecimiento económico y luego invierte su tendencia a partir de un cierto nivel de renta. Gráficamente toma la forma de campana o de una U invertida.

Los primeros datos sobre emisiones contaminantes y otros indicadores medioambientales se empezaron a obtener y recopilar a través de un programa llamado GEMS creado por la ONU y la OMS. Estos datos fueron utilizados por Grossman y Krueger (1991), que publicaron los primeros resultados. Estudiaron algunos contaminantes concretos como dióxido de azufre y partículas en suspensión y calcularon puntos de inflexión entre 4.000 y 5.000 dólares del año 1985.

A partir de ese momento aparecieron muchos otros estudios aportando evidencias a favor de la citada hipótesis, aunque la gran variedad de métodos usados y de resultados obtenidos hizo que surgieran fuertes críticas y se propusieran otras alternativas o hipótesis. Sin embargo, EKC ha continuado siendo la línea principal de investigación hasta nuestros días. Más interesante que los datos en sí resulta el análisis de las explicaciones dadas para apoyar esta hipótesis. Las más usuales son:

a) Incremento de la demanda medioambiental. Se considera que la calidad medioambiental es un bien de lujo. Técnicamente se expresa diciendo que la elasticidad renta de su demanda es mayor que uno, lo que supone que a medida que los agentes aumentan su nivel de renta, aumentan en mayor medida su demanda de servicios medioambientales. No todos los estudios han encontrado que la elasticidad sea mayor que uno, por lo que este punto sigue siendo controvertido.

b) Cambios tecnológicos. Los países más ricos dan más importancia a las actividades de reciclaje y eliminación de residuos. A medida que se industrializan aumentan su consumo de energía y recursos naturales así como el flujo de sus emisiones contaminantes. Esto hace que la utilidad marginal del consumo disminuya y las inversiones en actividades de eliminación aumenten.

c) Cambios estructurales. Se argumenta que la economía pasa de una etapa agrícola de baja contaminación a otra industrial de alta contaminación y posteriormente

invierte su tendencia debido al sector servicios. El peso del sector servicios es cada vez mayor en los países más avanzados. Este sector, con la excepción de los transportes, tiene un consumo más reducido de energía que el sector industrial y es menos contaminante.

d) Cambios institucionales. Se explica la curva como consecuencia de la introducción de políticas medioambientales, niveles de educación ciudadana, protección de los derechos de propiedad privada y otras acciones que toman los países más avanzados para mejorar su calidad medioambiental.

e) Reasignaciones internacionales. Cuando los países más avanzados introducen regulaciones medioambientales más estrictas las empresas más contaminantes buscan trasladarse a otros países para evitar incurrir en mayores costes. Tampoco hay unanimidad en este punto pues los estudios realizados no soportan esta hipótesis y porque la contaminación no sólo se genera en actividades productivas sino como consecuencia de las actividades de consumo.

Por otra parte se han propuesto gran cantidad de modelos de crecimiento que generan curvas EKC y que sirven como base teórica para esta hipótesis. Otro enfoque teórico distinto que se ha utilizado como base de esta hipótesis ha sido el de descomponer la relación total en tres efectos parciales:

— Un efecto escala, donde a medida que aumenta la actividad aumentan los niveles de polución.

— Un efecto composición, que se explica a través de la evolución o terciarización de las economías y que ya comentamos antes. Este efecto no sería monótono y generaría una U invertida.

— Un efecto de progreso tecnológico y de eliminación de polución, que hace que a medida que aumenta la renta disminuya la degradación medioambiental.

A pesar de todos estos trabajos las críticas están siendo muy severas. Hay que tener en cuenta que la plena aceptación de la hipótesis EKC supone admitir que el deterioro medioambiental es un fenómeno temporal y que su solución es el simple crecimiento económico.

Además de los argumentos técnicos utilizados para cuestionar el soporte técnico y econométrico utilizado en los trabajos sobre EKC hay que tener en cuenta que los estudios se hacen sobre una serie de contaminantes y no se pueden extrapolar a una situación global, máxime cuando los indicadores de presión medioambiental utilizados por los ecologistas muestran una continua degradación en los países más avanzados. Esto se debe a que EKC no considera la pérdida de biodiversidad y otros fenómenos irreversibles, así como la posibilidad de que los daños medioambientales impacten en los niveles de producción.

En resumen, se admite que EKC es una relación empírica de la que existen evidencias para cierto tipo de contaminantes, pero no para otros, lo que cuestiona su utilización como un modelo completo que pueda ser usado como base de la política medioambiental.

La medida del crecimiento sostenible

Medimos el crecimiento económico a través del PNN per cápita o renta per cápita. Pero si queremos conocer en qué medida ese crecimiento es sostenible necesitamos saber el impacto que tienen las decisiones de consumo e inversión en el bienestar de las futuras generaciones, dado que una de las cuestiones críticas respecto al crecimiento sostenible reside en la equidad entre generaciones. Los datos de renta per cápita nos dicen cuál es el crecimiento económico que están experimentando los países, pero nada saben respecto a las posibilidades futuras de crecimiento, por lo que no se contesta a la pregunta básica que nos hacemos para tratar de discernir si un determinado crecimiento está siendo o no sostenible. Necesitamos saber si nuestros niveles de consumo y utilización de recursos naturales en los que basamos el crecimiento actual están o no poniendo en peligro el crecimiento y el bienestar de las generaciones venideras.

La preocupación no es gratuita. Durante el Siglo XX la población del planeta se multiplicó por cuatro y la producción industrial por 40 (Arrow *et al.*, 2004). Crecimien-

tos de esta magnitud llaman de inmediato a la reflexión y a la necesidad de desarrollar y utilizar indicadores que nos permitan evaluar y detectar lo antes posible las situaciones de riesgo que se pueden producir. Y lo cierto es que las alarmas no han parado de sonar. Desde la aparición del libro *Los límites del crecimiento* en 1972 hasta las campañas de información y concienciación sobre las consecuencias del cambio climático de Al Gore en los últimos dos años, se han producido en estos ya más de 30 años multitud de llamadas de atención de todo tipo de organizaciones académicas, científicas y de organismos internacionales.

La búsqueda de nuevas medidas e indicadores puede además ayudar a eliminar, o al menos mitigar, las fuertes discrepancias y controversias existentes entre economistas de la ecología y economistas del medioambiente.

Las limitaciones del PNN (Producto Nacional Neto o Renta) como medida de bienestar son conocidas en la teoría económica desde siempre, pero la llegada de nuevos requerimientos por parte de la economía del medioambiente ha venido a agudizar el problema. Si admitimos que el bienestar que disfrutamos hoy es producto de pasadas inversiones y, por tanto, del capital recibido, parece lógico examinar cómo están evolucionando esos niveles de capital, para evaluar la capacidad de la economía para mantener o aumentar los niveles de bienestar en el futuro.

Arrow *et al.* (2004) han propuesto un indicador para conocer en qué medida el crecimiento experimentado por los países es sostenible. Lo denominan «riqueza genuina» (*genuine wealth*) y su obtención y racionalización es como sigue:

El bienestar se mide en términos de consumo y utilidad. Ya hemos visto que en los modelos de crecimiento óptimo se maximiza una función intertemporal de utilidad que supone un flujo de consumos desde hoy hasta el infinito, descontados a una tasa constante. Pero el criterio de sostenibilidad exige que el flujo de utilidades

sea no decreciente y hay muchas causas por las cuales el óptimo puede no ser sostenible y otras por las que un crecimiento sostenible puede no ser óptimo. Aparece así otro criterio para identificar la sostenibilidad de una economía que es la noción de base productiva.

El bienestar actual es producto de pasadas inversiones y, por tanto, del nivel de capital recibido, entendiendo capital en su acepción más amplia posible, que se denomina base productiva o riqueza genuina. La base productiva de cada período es la que determina el bienestar del siguiente período y está integrada por todos los activos materiales e inmateriales en poder de la sociedad así como de sus instituciones. Esto concuerda con las formas alternativas de capital que ha ido desarrollando la teoría económica, distintas del concepto tradicional de capital físico o bienes de capital producidos. Ahora hay que añadir capital humano, capital intelectual, capital social y capital natural, integrado este último tanto por recursos naturales como ecosistemas.

Si llamamos «inversión genuina» (*genuine investment*) a los cambios en la base productiva se demuestra bajo ciertas hipótesis que una inversión genuina no negativa es condición necesaria y suficiente para el crecimiento sostenible, bajo el criterio de sostenibilidad débil, es decir que no es necesario que la inversión genuina sea no negativa en todos sus apartados. Una de estas hipótesis hace referencia al impacto del tamaño de la población. Se mantiene el llamado criterio utilitarista empleado en la teoría del crecimiento y, por tanto, lo que se pide es que la riqueza genuina per cápita sea no decreciente.

El problema radica, naturalmente, en la valoración de la base productiva y de su contribución al bienestar de la sociedad. En especial la valoración de los ecosistemas es muy compleja y uno de los campos donde más se ha trabajado en estos últimos años. Aquí los ecologistas tienen que decirnos cuál es la contribución de los diferentes recursos y ecosistemas al bienestar de la sociedad y cuáles son las posibilidades de sustitución del capital natural por otras clases de capital.

8. Conclusiones

El crecimiento económico es uno de los factores fundamentales del bienestar de los seres humanos, de ahí la importancia que tiene su estudio tanto en el plano teórico científico como en su aplicación a las políticas de los países.

El crecimiento económico se produce como consecuencia de un proceso de acumulación de capital entendido en sentido amplio (físico, natural, humano, intelectual y social) cuyo motor es el progreso tecnológico.

La escasez de recursos naturales no renovables y la degradación del medioambiente suponen un drenaje de las tasas de crecimiento, por lo que resulta esencial estudiar las condiciones bajo las cuales se puede alcanzar un crecimiento sostenible. Este tipo de crecimiento exige que la actividad económica no reduzca la capacidad de las futuras generaciones para continuar el proceso, es decir que el bienestar social no sea decreciente en el tiempo.

Las condiciones de factibilidad se estudian a través del modelo neoclásico de crecimiento exógeno. Básicamente hay que conseguir que los aumentos del producto puedan realizarse sin agotar los recursos naturales, lo que técnicamente se expresa diciendo que la función de producción presente una elasticidad de sustitución entre factores igual o superior a la unidad, lo que implica que estos recursos no sean esenciales y no puedan paralizar el crecimiento.

Este resultado es igualmente válido cuando consideramos las emisiones contaminantes como un factor de producción. Que los aumentos de producto puedan alcanzarse sin aumentar la degradación medioambiental o que las actividades de eliminación de residuos complementen de forma suficiente la capacidad regenerativa del ecosistema impidiendo que la calidad medioambiental se deteriore durante el proceso de crecimiento económico, exige un progreso tecnológico continuado tanto en las actividades productivas de fabricación de bienes y prestación de servicios como en las actividades de reciclaje y eliminación de residuos, que deben

presentar rendimientos crecientes a escala. Estos modelos no tienen en cuenta los efectos de la calidad medioambiental en el bienestar social por lo que están mejor adaptados a los países de rentas más bajas donde no existe preocupación por la pérdida de capital natural.

Que el crecimiento sea factible no garantiza que la economía alcance su óptimo social y además podemos encontrar que el crecimiento óptimo sea no sostenible. La clave de este fenómeno se encuentra en el hecho de que la calidad medioambiental es un bien público, lo que nos conduce al problema de externalidades y fallos de mercado, lo que justifica la intervención de los poderes públicos para evitar que la economía descentralizada nos lleve a niveles de degradación medioambientales que puedan incluso colapsar el propio sistema económico.

Es necesario, por tanto, regular los mercados bien a través del sistema impositivo o bien limitando las emisiones de forma que se internalicen todos los costes de productores y consumidores. Estos fenómenos se estudian a través de los modelos de crecimiento óptimo cuya tasa de crecimiento es exógena, por lo que las políticas medioambientales sólo afectan a los niveles de las variables. El consumo y la acumulación de capital son menores que antes de aplicar las políticas. Estos modelos parecen mejor adaptados a países de rentas más elevadas donde se generan preocupaciones y políticas medioambientales, pero que dependen del progreso tecnológico que les llega de los países más avanzados.

Para los países más avanzados se adaptan mejor los modelos de crecimiento endógeno, que presentan las mismas condiciones técnicas de factibilidad que los modelos anteriores y, por tanto, se requiere la intervención de los mercados y que las actividades de reducción de la contaminación y la eliminación de residuos permitan reducir el coeficiente de emisiones, así que este sector ha de presentar rendimientos constantes o crecientes de escala. La diferencia es que ahora las políticas medioambientales afectan a las tasas de crecimiento y los niveles

de recursos dedicados a la investigación que afectan al necesario progreso tecnológico se determinan dentro del modelo. Es en estos aspectos donde se concreta la investigación teórica y empírica en nuestros días.

Referencias bibliográficas

[1] AGHION, P. y HOWITT, P. (1998): *Endogenous Growth Theory*, The MIT Press, Cambridge, Massachusetts.

[2] ARROW, K.; DASGUPTA, P.; GOULDER, L.; DAILY, G.; EHRLICH, P.; HEAL, G.; LEVIN, S.; MÄLER, K. G.; SCHNEIDER, S.; STARRETT, D. y WALKER, B. (2004): «Are we Consuming Too Much», *Journal of Economic Perspectives*, volumen 18, número 3, páginas 147-172.

[3] BROCK, W. A. y TAYLOR, M. S. (2004): «Economic Growth and the Environment: A review of Theory and Empirics», *NBER Working Paper Series 10854*. Cambridge, Massachusetts.

[4] GROSSMAN, G. M. y KRUEGER, A. B. (1991): «Environmental Impacts of a North American Free Trade Agreement», *NBER Working Paper Series 3914*. Cambridge, Massachusetts.

[5] SMULDERS, S. (1999): «Endogenous Growth Theory and the Environment», en: VAN DEN BERGH, J., ed., *The Handbook of Environmental and Resource Economics* (Edward Elgar Publishers, Cheltenham).

[6] SMULDERS, S. (2000): «Economic Growth and Environmental Quality», en: FOLMER, H. y GABEL, L., eds., *Principles of Environmental Economics* (Edward Elgar Publishers, Cheltenham).