

# Los modelos neoclásicos de desarrollo sostenible y la noción de "sostenibilidad débil"\*

**Neoclassic models of sustainable development and the notion of weak sustainability**

**Álvaro Pío Gómez Olaya**

Economista, docente tiempo completo,  
Facultad de Ciencias Económicas, USB-Cali  
apio@usb.edu.co

Grupo de investigación *Economía, gestión y desarrollo sostenible*  
Universidad de San Buenaventura Cali

## Resumen

Este artículo presenta un análisis de los modelos neoclásicos de desarrollo sostenible, a partir de los cuales se identifican algunos alcances y limitaciones en la toma de decisiones económicas, especialmente cuando se trata de la aplicación de medidas de política económica ambiental.

**Palabras clave:** Desarrollo sostenible, políticas ambientales, sostenibilidad débil, modelos económicos.

## Abstract

This article provides an analysis of neoclassic models of sustainable development from which some gains and limitations in the taking of economic decisions can be identified; especially when dealing with the application of measures related to environmental economic policies.

**Keywords:** Sustainable development, environmental policies, weak sustainability, economic models.

\* Avance del proyecto de investigación *Construcción de índices de desarrollo sostenible aplicados a las principales ciudades colombianas*, inscrito en el Centro de Investigaciones Bonaventuriana de la Universidad de San Buenaventura Cali.

Fecha de recepción: Febrero de 2006.

Aceptado para su publicación: Mayo de 2006.

## Introducción

Al examinarse los aspectos fundamentales de la sostenibilidad a través del análisis económico neoclásico, cabe preguntarse qué tipo de significado puede tener la noción de desarrollo sostenible en el contexto de esta perspectiva teórica, con el propósito de diferenciarla claramente de las demás opciones disponibles. Para ello este trabajo establecerá algunos de los rasgos sobresalientes que caracterizan los modelos de sostenibilidad propios de esta tradición teórica. Esta síntesis, este documento presenta una variedad de modelos que pueden ser agrupados en tres clases, los cuales en su conjunto permiten obtener una relación amplia de medidas de política económica ambiental propias de la sostenibilidad débil, en función de los diferentes supuestos característicos en cada tipo de modelo.

Finalmente, realiza un balance de las posibilidades y limitaciones del enfoque ofrecido por el análisis neoclásico, haciendo énfasis en su concepción particular del capital natural. La clasificación general de los modelos de sostenibilidad es una tarea compleja, dada la variedad de orientaciones teóricas y las diversas aproximaciones que pueden encontrarse desde el punto de vista de la modelización matemática.

A manera de ejemplo, puede tomarse la reseña del tema hecha por Van den Bergh, *et. al.* (1986), en la que se mencionan al menos 12 perspectivas teóricas; entre las que pueden destacarse la neoclásica de equilibrio, neoaustriaca, ecológica evolutiva, evolutiva tecnoló-

gica, físico económica, biofísico energética, ecológica de sistemas, histórico institucional; todas ellas claramente diferenciadas respecto de claros criterios como su utilización (o no) de modelos formales, la inclusión (o no) de conceptos provenientes de la termodinámica, etcétera.

Sin embargo, la muestra se restringe notablemente si –como es el interés de este trabajo– se hace especial énfasis en los modelos formales (matemáticos) de desarrollo sostenible, los cuales han sido elaborados a partir de un conjunto más pequeño de perspectivas. Una buena aproximación puede encontrarse en el análisis de los modelos más representativos hecho por Facheux, Pearce y Proops (1996), quienes los dividen en neoclásicos, evolutivos, de economía ecológica y neoricardianos<sup>1</sup>.

La exploración de las medidas de política económica, derivadas de este conjunto de modelos formales de desarrollo sostenible, es de sumo interés puesto que estos modelos constituyen, precisamente, la base fundamental de la que pueden deducirse políticas ambientales específicas.

## Desarrollo y crecimiento sostenibles en el contexto de la teoría neoclásica de sostenibilidad

La inexistencia de un consenso acerca del significado e implicaciones que tienen estos conceptos en la disciplina económica es un he-

1. Generalmente los trabajos de clasificación referidos a modelos matemáticos dejan de lado las vertientes institucionalistas de análisis medioambiental.

cho innegable (Dixon - Fallon, 1991), por lo que se hace imperativo, entonces, precisar en cada caso particular (para cada modelo y teoría) cuál es el significado que adoptan.

En términos del análisis neoclásico<sup>2</sup> se encuentran diversas acepciones que van desde la posibilidad de que se considere innecesario el uso del término desarrollo sostenible, hasta la aparición de argumentos que permiten pensar que su uso es necesario y útil.

Una de las razones para que esta divergencia de conceptos permanezca seguramente es la dicotomía esencial que existe entre los criterios de maximización y de sostenibilidad; en tanto que el primero hace énfasis en la maximización de la utilidad, el segundo se enfoca en la equidad intergeneracional (el bienestar de las generaciones futuras respecto del bienestar de las generaciones presentes); lamentablemente no se tienen pruebas de que el cumplimiento de un criterio garantice el cumplimiento del otro (Arrow, *et. al.*, 2002).

De otra parte, Partha Dasgupta sugiere que la existencia de una literatura sólida en el campo del crecimiento óptimo hace innecesario un análisis particular del desarrollo sostenible (por ser redundante), cuando menos en el sentido dado al término por el llamado "Informe Brundtland" (Dasgupta, 1994).

Esto supone que los problemas de viabilidad de una economía a largo plazo están contemplados desde tiempo atrás por una tradición sólida que ha sido ignorada por muchos de los defensores del desarrollo sostenible como objetivo económico y social. Implica, además,

que en este contexto, estrictamente hablando, debería hablarse del problema de viabilidad económica en el largo plazo como uno de "crecimiento óptimo", si se considera que, de hecho, los problemas ambientales de una economía en el largo plazo deben analizarse a partir de modelos de crecimiento económico correctamente especificados; es decir, realizando mediciones adecuadas del bienestar económico (y el crecimiento) a partir de un índice de Producto Nacional (o interno) Neto (PNN-PIN) que incluya los stock de recursos naturales y al daño ambiental.

Desde este punto de vista pareciera, pues, que el término desarrollo sostenible en sí mismo es inadecuado, impreciso y redundante. No obstante lo contundente de este tipo de argumentación, autores como John Pezzey sostienen que es posible diferenciar claramente los significados (e implicaciones económicas) que acompañan a los términos crecimiento económico, desarrollo económico y desarrollo sostenible, dependiendo básicamente de la especificación dada a las funciones de producción y de bienestar social que describen el comportamiento del sistema considerado.

Así, por ejemplo, tendríamos que el proceso de desarrollo económico estaría dado por el incremento en una función de bienestar social que depende del consumo y del estado del medio ambiente; en tanto que el desarrollo sostenible puede entenderse como un proceso en el que se impone una condición específica –poniendo por caso– que la función

2. Para ser más precisos, habría que hablar específicamente de la tradición neowalrasiana o neoclásica de equilibrio como la más representativa dentro del amplio espectro de tradiciones que suelen denominarse neoclásicas.

de bienestar social sea no declinante. No obstante, aunque es cierto que una argumentación de este tipo permite la diferenciación conceptual entre el crecimiento y el desarrollo económico, desde el punto de vista del significado estricto que los modelos formales permiten, el rasgo distintivo del análisis neoclásico es que los procesos de desarrollo y crecimiento no son cualitativamente diferentes:

*"In this formal context we cannot represent ideas, such as in Daly, Georgescu. Roegen or Boulding, that development is qualitatively different from growth"* (Pezzey, 1989, p. 14).

Con esto puede concluirse que la opción correcta es la de hablar simplemente de crecimiento óptimo o, a lo sumo, de crecimiento sostenible, cuando se haga referencia a los modelos propios de esta tradición, con el fin de diferenciarlos claramente de otras propuestas en las que la modelación de tal diferenciación es un objetivo fundamental, como en los casos de la economía neo schumpeteriana y del modelo de Estado estacionario en economía ecológica.

### **Sostenibilidad débil, modelos de crecimiento sostenible y política económica**

Buena parte de la literatura sobre recursos agotables y progreso técnico son extensiones de los modelos unisectoriales de crecimiento económico en los que se incluye un recurso agotable como insumo de producción, la tecnología es CES, con rendimientos constantes a escala. Se supone, entonces, la existencia de un planificador central que bus-

ca maximizar el valor presente de una función de utilidad cuyo argumento es el consumo per cápita. Respecto de las condiciones de producción, se emplean funciones de producción de elasticidad de sustitución constante (CES), en las que es usual considerar dos posibilidades:

- Las isocuantas son asintóticas respecto de los ejes y la elasticidad de sustitución es igual a la unidad, o
- Las isocuantas intersectan a los ejes y la elasticidad de sustitución es mayor que uno.

Tenemos, en este caso, una especificación del proceso de producción en la que las posibilidades de sustitución y de crecimiento y progreso técnico se exploran sin la consideración de restricciones termodinámicas, lo cual permite hacer predicciones optimistas de las posibilidades de alcanzar un crecimiento sostenible.

Las posibilidades de que este último no sea alcanzado, aparecen con la consideración de los efectos del segundo principio de la termodinámica. En tal caso, sencillamente:

*"The difficulty with these conditions is that they seem to be inconsistent with physical laws"* (Toman, Pezzey, Krautkraemer, 1995, p. 143).

Es decir, si el input no renovable es considerado como recurso energético, en el contexto de una función del tipo CES la implicación inmediata es que se requiere un mínimo de energía como insumo. Esto implica una elasticidad de sustitución menor que uno, con lo que se limita la capacidad de producción a

largo plazo y, en este caso, el crecimiento podría no ser sostenible, puesto que la posibilidad de mantener el consumo sostenido requiere de amplias posibilidades de sustituibilidad factorial o de la existencia de progreso técnico (en razón a que la elasticidad de sustitución menor que uno limita la cantidad de producto medio y total y, por ello, al consumo total alcanzable).

Entonces, es importante entender que la existencia del crecimiento sostenible a largo plazo hace imprescindible la consideración de variadas posibilidades en términos de la descripción de la producción, la inclusión de restricciones físicas, los valores atribuibles a las posibilidades de sustitución factorial y las condiciones tecnológicas (sin progreso técnico y/o con progreso técnico exógeno o endógeno).

### **El modelo neoclásico principal**

Llamaremos modelo principal al modelo neoclásico que presenta una economía en la que, en principio, existen grandes posibilidades de sustitución tecnológica beneficiando el progreso técnico exógeno.

El trabajo clásico de Robert Solow (1974), sobre una economía con posibilidades de sustitución unitarias en la que no hay progreso técnico, afirma, incluso, que una catástrofe económico-ecológica puede evitarse y es un evento altamente improbable.

El mejor de los escenarios posibles, supone:

1. Un progreso técnico nulo.
2. Unas condiciones de equidad intergeneracional en el consumo de recursos,

3. Una elasticidad de sustitución entre los recursos naturales no renovables, y
4. Una elasticidad de producción respecto del capital reproducible mayor que la elasticidad de producción respecto de los recursos naturales,

Dadas estas condiciones, una población de tamaño constante puede mantener para siempre un nivel de consumo constante (positivo).

El siguiente escenario supone la existencia de progreso técnico y conserva las condiciones 2, 3 y 4.

La existencia de progreso técnico aumenta las posibilidades de sostenibilidad en esta economía e introduce motivos para fundamentar aún más el optimismo alcanzado con el escenario anterior. Si tenemos progreso técnico ahorrador de recursos naturales, las posibilidades de sustitución de los recursos no renovables son grandes así como lo es la disponibilidad de capital. De esto se deduce que el agotamiento de cualquier depósito de recursos naturales no es un problema grave, puesto que es posible invertir la renta de escasez obtenida por la explotación del recurso agotable y así mantener constante el valor total de la riqueza nacional (natural y hecha por el hombre), lo que a su vez permite sostener un nivel de consumo constante en el tiempo (esta es una expresión de la regla de Hartwick).

Las posibilidades de una catástrofe ambiental pueden relacionarse con las elecciones de explotación realizadas por los agentes económicos, pues como anota Solow:

*"...aún cuando la tecnología y los recursos naturales disponibles pudiesen permitir un nivel constante de consumo per cápita, o*

*aun un nivel de vida creciente, una preferencia social positiva en el tiempo podría hacer que la sociedad prefiriese la extinción final, dada la explotación que se hace de los recursos naturales no renovables"* (Solow, 1974, p. 151).

En la mayoría de casos considerados plausibles, el resultado final permite pensar que las posibilidades de un colapso económico están lejos, pues el agotamiento de un recurso no renovable (carbón, petróleo, etc.) puede superarse a partir de un cambio sucesivo de tecnologías basadas en otro recurso agotable.

Además, queda la posibilidad de pensar en la existencia de una tecnología de contención (*back stop technology*); definida como aquella que es inagotable y capaz de sustituir un recurso no renovable a un costo elevado, pero que es inagotable a escalas de utilización humana (el uranio U238, la licuefacción de carbón, la fusión nuclear, la energía solar).

Igualmente, el modelo de Nordhaus (1995) permite observar la manera en la que el cambio técnico afecta las posibilidades de sostenibilidad. Modelo que contempla las siguientes variables:

G = Producto Nacional Neto (PNN).

Y = producto teniendo en cuenta pérdidas por externalidades y polución.

X = Producto Nacional Bruto.

P = polución.

L = trabajo.

R = recursos naturales.

T = tierra.

K = capital fijo.

H = tecnología.

$\Omega, \Lambda, \Gamma, \Delta$  = elasticidades de sustitución entre factores.

F = función de rendimientos constantes a escala.

R = stock fijo de recursos naturales agotables.

$\mu$  = parámetro de nivel de consumo de recursos naturales agotables.

g = tasa de crecimiento per cápita.

h = tasa de cambio técnico neutral de Hicks.

En consecuencia, el PNN puede expresarse como:

$$Y = G(X, P) = F(L, R, T, K, H)$$

Los recursos naturales agotables como:

La función Cobb-Douglas con cambio técnico neutral de Hicks y elasticidades constantes que suman 1, como:

$$Y = F(H, L^{\Omega}, R^{\Lambda}, T^{\Gamma}, K^{\Delta}, )$$

La tasa de crecimiento modificada por el cambio técnico, en la que se tienen en cuenta los efectos negativos del agotamiento de recursos naturales y los rendimientos decrecientes, como:

$$g = - \left[ \frac{1 - \omega}{(1 - \delta)} \right] n - \frac{\lambda \mu}{(1 - \delta)} + \frac{h}{(1 - \delta)}$$

También, la condición para sostenibilidad, si el cambio técnico es mayor que el lastre, tiene la siguiente notación:

$$h > (1 - \omega - \delta)n + \lambda \mu$$

Usualmente es plausible asumir que el cambio técnico es mayor que el lastre o efecto negativo.

Se tiene, pues, en todos estos casos, una clara muestra del optimismo tecnológico.

Siguiendo a Solow, las políticas económicas correspondientes serían:

- La utilización de incentivos positivos o negativos de mercado, más que cambios institucionales globales.
- El establecimiento de alguna institución cuyo objetivo sea corregir (anticipándose a los movimientos futuros) los desequilibrios en la explotación de los recursos, pues la secuencia de explotación de estos podría ser miope a corto plazo.
- Estimular la formación y organización de mercados de futuros para los recursos naturales,
- Realizar algún tipo de "planeación indicativa", a través de la organización de sistemas o formas de recolección y difusión de información respecto de las tecnologías disponibles, los movimientos y cambios de la demanda y las reservas de recursos disponibles.

Podría decirse que una de las particularidades de la política económica asociada a este modelo, en el que se describe al capital natural básicamente como un stock de recursos a ser utilizados como input en la producción, es la prescripción de que el objetivo de crecimiento sostenible implica la conservación de la capacidad de contar con niveles de inversión total neta adecuados, lo cual no confiere al capital natural alguna condición cualitativa especial. Es por ello que la idea de conservar intacto algún recurso natural (o gran parte de estos) no es una condición necesaria para que

una economía pueda considerarse sostenible:

*"If sustainability means anything more than a vague emotional commitment, it must require that something be conserved for the very long run. It is very important to understand what that something is: I think has to be a generalized capacity to produce economic well-being. It makes perfectly good sense to insist that certain unique and irreplaceable assets should be preserved for their own sake; nearly everyone would feel that way about Yosemite or, for that matter, about the Lincoln Memorial, I imagine. But that sort of situation cannot be universalized: it would be neither possible nor desirable to "leave the world as we found it" in every particular. Most routine natural resources are desirable for what they do, not for what they are. It is capacity to provide usable goods and services that we value. Once that principle is accepted, we are in the everyday world of substitutions and trade-offs" (Solow, 1994, pp.23-24).*

Así, una trayectoria de crecimiento sostenible no es la que conserva elementos singulares, pues lo importante es la conservación del valor total de los activos disponibles, lo que permite que las generaciones futuras dejen, si es necesario, intacto el legado de capital para las generaciones futuras. Usualmente esta regla o condición de sostenibilidad es denominada como "regla de Hartwick", pues, como se señaló antes, la sociedad puede invertir las rentas obtenidas de la explotación del capital en la preservación de su capacidad para sostener un nivel constante de consumo en el futuro y esto le permite permanecer en una trayectoria de sostenibilidad.

### **El modelo neoclásico secundario**

A pesar de la claridad del análisis sugerido por Solow, existe una alternativa que podría-

mos denominar como modelo secundario; cuya característica es la de considerar los cambios que pueden ocurrir en casos en los que las posibilidades de sustitución tecnológica se restringen.

En su libro *The Economics Of exhaustible Resources*, los profesores Partha Dasgupta y Geoffrey Heal, presentan una exploración exhaustiva de modelos de crecimiento neoclásicos en los que se incluye una variedad de casos, de los cuales es importante destacar uno en especial y es aquel en que las restricciones termodinámicas asociadas a la segunda ley de la termodinámica, o Ley de Entropía, se consideran explícitamente en la modelación de las posibilidades de producción.

A efectos de este análisis, es importante anotar que para Dasgupta y Heal el modelo principal es el más plausible, en tanto que el modelo secundario es menos relevante.

Mediante el uso de una función de producción en la que se incluyen capital físico (K), recursos naturales (R), trabajo (L), tiempo (T), el modelo principal se ocupa del problema del agotamiento de los recursos y la acumulación de capital en una economía competitiva.

La función es estrictamente cóncava y homogénea de grado uno en K, R, y L, y que puede asumirse como una función CES, con elasticidad de sustitución unitaria. La función es del tipo Cobb - Douglas:

$$Y = F (K^{p1} + R^{p2})$$

En este caso particular, existen dos posibilidades de viabilidad: uno en el que  $F (K, 0)$  es decir, en el que los recursos naturales no son esenciales para la producción, puesto que la

elasticidad de sustitución unitaria permite una sustitución factorial perfecta.

El otro caso, en el que la elasticidad de sustitución es menor que uno, y por lo tanto  $F (K, 0)$  es imposible, con lo que los recursos naturales son imprescindibles o esenciales para la producción: el producto por unidad de recurso utilizado es limitado y finito y podría declinar hacia cero.

Esto sería cierto en caso de que no haya cambio técnico. Pero si se supone que la elasticidad –producto del capital– es mayor que la elasticidad –producto de los recursos naturales–, la producción puede mantenerse indefinidamente sin importar la cantidad de recursos naturales con que cuente esa economía.

Además, de este "contexto tradicional" de análisis, existe otra posibilidad que se denomina como modelo secundario, el cual se caracteriza por la aparición de problemas de eficiencia en la economía y el hecho de tener en cuenta el segundo principio termodinámico, con lo que tenemos un cambio sustancial en la forma que tiene la función de producción. Según Dasgupta y Heal, si se interpreta el recurso agotable (R) como un recurso energético, se tiene que:

*"The existence of a minimum energy input needed to achieve a given output level conveys important information about the shape of isoquants of the function G. In particular, it implies that any isoquant must have an asymptotic parallel to the K axis at the minimum value. . . a minimum energy requirement of output level and no amount of capital-energy substitution can take the energy input below this"* (Dasgupta y Heal, 1981, p. 208).

Este hecho implica que la elasticidad de sustitución entre el capital y los recursos naturales



sería menor que uno, por lo que se puede concluir que la función de producción típica viola los principios termodinámicos siempre que entre los insumos considerados haya una fuente energética.

Las consecuencias derivadas de esta observación son amplias: desde el punto de vista analítico, las conclusiones derivadas del modelo principal son cuestionables a tal punto que, puede decirse que el crecimiento sostenible, lejos de ser un resultado muy probable, está lejos de ser un objetivo de fácil alcance.

Por ejemplo, una trayectoria eficiente sería alcanzable sólo si se mantiene relativamente alto el precio de la energía respecto de los demás precios de la economía, para evitar su agotamiento prematuro.

Resultados análogos fueron alcanzados por Barbier y Markandya (1990), con un modelo en el cual no existe sustitución total entre el capital natural y el capital hecho por el hombre, en el que se asume la necesidad de mantener el primero en un nivel mínimo (para prevenir una catástrofe ecológica, que podría destruir las posibilidades de existencia humana).

La modificación del modelo básico, para incluir especificaciones más completas desde el punto de vista de la consideración de ciertas condiciones derivadas de principios de la termodinámica es, de hecho, la siguiente tipología dentro de la visión neoclásica de la sostenibilidad.

Es posible detectar los rasgos esenciales del modelo neoclásico principal (optimista) y del modelo neoclásico secundario (pesimista), en otras formulaciones específicas, como se verá a continuación.

### **Modelos neoclásicos con restricciones termodinámicas**

Es posible, también, encontrar un tercer tipo de modelo que conserva los supuestos de sustitución originales del marco de Solow – Hartwick, pero asumen una especificación de la producción que tiene en cuenta de manera explícita el principio del balance de materiales; es decir, que son más completos en su descripción del proceso económico si se considera que su especificación reconoce explícitamente la interacción realizada por los sistemas económico y natural.

En el modelo de Pezzey (1989), el desarrollo sostenible puede entenderse como la obtención de niveles crecientes de bienestar económico, teniendo en cuenta los cambios producidos por las actividades económicas en la calidad del medio ambiente. La producción depende del capital físico, del trabajo, del capital humano, del stock de recursos naturales, del flujo de recursos naturales y de los desechos arrojados al medio ambiente, y se puede expresar como:

$Y = Y(K, L, H, F, Q_1)$  producción del output agregado en términos de la calidad ambiental.

El crecimiento del capital es igual a la inversión bruta realizada en equipo menos la depreciación del capital y se representa por:

$$K = I_k - d_k k.$$

El crecimiento de la tecnología es igual a la inversión bruta hecha en capital humano, menos la depreciación y se denota como:

$$T = I_t - d_t$$

El crecimiento del stock de recursos naturales puede expresarse como la tasa de creci-

miento natural de los recursos naturales menos la extracción (por supuesto, para los recursos naturales no renovables, la tasa de crecimiento natural es nula). Su fórmula es:

$$N = p(N, X) - f$$

El bienestar social (expresado en niveles de utilidad) depende de los niveles de consumo y los niveles de calidad ambiental y se denota de las siguientes maneras:

$U = U(C, N, P)$  función de utilidad social o  
 $U = U(C, Q_2)$  función de utilidad social dependiente de la calidad ambiental.

El uso sostenible de los recursos naturales es una elección de los individuos entre el gasto en consumo o el gasto en "limpieza y control" ambiental; de manera que el ingreso se divide entre el consumo y el gasto en "limpieza" del medio ambiente. Su expresión matemática es:

$$Y = C + S$$

La calidad ambiental está en función de los incrementos en la producción (a mayores niveles de producción se genera más contaminación y desechos); pero estos pueden mitigarse mediante incrementos en el gasto de "limpieza y control" del medio ambiente. Su notación es:

$$Q = Q(Y, S); Q_Y < 0, Q_S > 0$$

$$dE = Q_Y dY + Q_S dS$$

El incremento en el bienestar social implica que los consumidores deben hacer la elección entre el gasto en consumo y el gasto en "limpieza y control" ambiental; es decir, los niveles de bienestar humano dependen del dinero destinado a mantener la calidad medioambiental.

$$U[C, S] = U[Y - S, Q(Y, S)]$$

En resumen, si se entiende el objetivo de sostenibilidad como la posibilidad de mantener sin límite los niveles deseados de producción y consumo futuros, se puede pensar que en una economía en crecimiento, con posibilidades de cambio técnico (aumentador de recursos) la política económica aconsejable es la acumulación de capital a una tasa suficiente para invertir en limpieza y control de los daños ambientales y reponer los recursos naturales consumidos.

Tanto el uso sostenible de un recurso, como la sostenibilidad global de la economía dependen, en consecuencia, del gasto para revertir los daños causados y controlar la contaminación ambiental.

Este modelo nos deja ver, de manera clara, que las políticas de ahorro son preferibles para alcanzar la sostenibilidad, respecto de las de preservación del capital natural.

### Modelos de crecimiento endógeno

El cambio técnico endógeno puede ofrecer un cuarto modelo. En cuanto al crecimiento endógeno y al problema medioambiental, en general, las extensiones del análisis neoclásico del crecimiento se refieren en su mayoría a modelos del tipo Solow, y los análisis de los problemas de escasez de recursos naturales en el contexto de los modelos de crecimiento endógeno son demasiado pocos aún:

*"Nevertheless, it is uncontestable that the resource use page in the endogenous growth story is largely blank" (Pitchford, 1997, p. 433).*

El propio Pitchford ha desarrollado un modelo en el que se incluyen los efectos económicos

del *learning by doing* en un contexto de recursos naturales agotables. Partiendo del hecho de que la producción se realiza a partir de dos factores:

- Recursos naturales agotables (R), con una tasa (r) de extracción de los recursos naturales, y
- Stock de recursos (L).

Entonces:  $L = r$ ,  $r > 0$  y el consumo total (c), será:  $c = G(R) - x(r, L) + c$

G es el producto correspondiente a los recursos agotables y x el costo de extracción de recursos a la tasa r.

En general, si existe un nivel de agotamiento de recursos  $L'$  asociado a efectos de *learning by doing* derivado del uso de recursos naturales, los costos de extracción son decrecientes si  $L' > L$ , y puede decirse que son posibles incrementos de la producción y el consumo permanentes, aunque es posible que haya caídas en estos si los efectos de aprendizaje disminuyen.

Aunque con un modelo como este resulta demasiado prematuro hablar de la política económica recomendable, puede decirse que, en principio, es esperable que los efectos del cambio técnico, derivados de efectos positivos de aprendizaje, refuercen la creencia de que es plausible conservar el optimismo tecnológico a largo plazo, aunque esté presente la posibilidad de eventuales caídas en los niveles de consumo y producción.

Algunos de los resultados más interesantes y sólidos en el campo de los modelos de cre-

cimiento endógeno han sido obtenidos por Philippe Aghion y Peter Howitt en su libro *Endogenous growth theory*.<sup>3</sup> Ellos muestran el tipo de condiciones que permiten alcanzar la sostenibilidad en dos clases de modelo: con tecnología AK y schumpeteriano.

Partiendo de algunas definiciones básicas, se asume que:

Y es el nivel de producción.

E es un indicador de calidad ambiental, que tiene posibilidades de regeneración y puede tomarse como un bien de capital que puede ser agotado por la polución.

U(c, E) es una función instantánea de utilidad que define el bienestar.

P es el flujo de polución que está en función creciente del nivel de producto y de la intensidad de polución P(Y, z) y

z es un parámetro que mide la intensidad de la polución.

La siguiente ecuación diferencial muestra el comportamiento temporal de la calidad ambiental:  $E = -P(Y, z) - \emptyset E$  donde  $\emptyset > 0$  es la tasa de regeneración potencial máxima que posee el medio ambiente (*Restricción 1*).

Existe, pues, un límite inferior bajo el cual la calidad ambiental supera su umbral ecológico.

La trayectoria de crecimiento óptimo tiene, entonces, la siguiente restricción:  $E^{\min} > E(t) > 0$  para todo t (*Restricción 2*).

El stock de recursos naturales no renovables (S), debe permanecer no negativo y su tasa de cambio es el negativo del flujo de extrac-

3. El modelo de Aghion y Howitt posee la particularidad de incluir una restricción ecológica a manera de "umbral", que ha sido tomada de la tradición de la economía ecológica, con lo cual sintetiza aspectos de ambas tradiciones. Eso implica que las condiciones de análisis sean un tanto diferentes a las alcanzadas por los modelos neoclásicos tradicionales.

ción de recursos (R). La función de producción agregada para esta economía es, entonces,  $Y = F(K, B, R, z)$

Se considera que la trayectoria de crecimiento óptimo maximiza la expresión  $\int_0^{\infty} e^{-\rho t} u(c, E) dt$ , que está sujeta a los valores iniciales de capital, recursos naturales y calidad ambiental.

El índice hamiltoniano correspondiente es:

$$H = u(c, E) + \lambda K + \mu B + \xi E + \varepsilon S$$

Donde el consumo, la investigación, la intensidad de la polución y la extracción de recursos son variables de control.

Este índice expresa el Producto Nacional Neto (PNN) "verde", que incluye la depreciación de los recursos naturales y del medio ambiente.

Desde el punto de vista del modelo básico con respecto al desarrollo sostenible, surge la pregunta si existe o no una trayectoria de crecimiento óptimo en la cual el PNN crezca sin límite?

En el modelo AK con umbrales ecológicos el desarrollo sostenible no es posible, pues la función de producción es:  $Y = Akz$ .

Esto implica que la utilización de tecnologías "limpias" requiere la obtención de menos producto por unidad de insumo empleada en el proceso productivo y está sujeta a las restricciones 1 y 2.

La tasa de polución o contaminación no puede exceder el límite de tolerancia ecológica indefinidamente sin causar una catástrofe medioambiental por la reducción asintótica que exhibe la intensidad de polución ante el

crecimiento sin límite del capital. En el caso del modelo schumpeteriano, el desarrollo sostenible sí puede alcanzarse, a partir de la función de producción:

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

Aquí la evolución del capital intelectual está dada por la ecuación  $B = \eta n B$ , donde B es un parámetro que indica la calidad promedio de un bien intermedio y  $\eta n$  es la frecuencia con la que ocurren las innovaciones (para todo el sistema económico).<sup>4</sup>

En el largo plazo, K y Y pueden crecer a la misma tasa sin que haya un retorno decreciente al capital, gracias a que la tasa de crecimiento del capital intelectual es mayor que la del capital tangible. Puede probarse que bajo ciertas condiciones precisas, existen valores iniciales de los stocks de capital tangible y capital intelectual (K, B) para los que una trayectoria de crecimiento óptimo o sostenible puede ser alcanzada.

La diferencia en las conclusiones (opuestas) alcanzadas en estos modelos endógenos de crecimiento radica en el siguiente hecho: Hacer una distinción explícita entre los capitales físico e intelectual implica que las tecnologías innovadoras son relativamente más "limpias", por lo que los incrementos en la producción suponen disminuciones en la intensidad de polución (z). En el modelo schumpeteriano, las oportunidades de alcanzar el desarrollo sostenible o más precisamente el crecimiento sostenible, dependen de la existencia de un flujo estable de innovaciones tecnológicas. Al parecer, la existencia del progreso técnico

4. En el que  $\eta$  –a su vez– es un parámetro (positivo) de investigación tecnológica y n el número total de trabajadores.

ahorrador de recursos naturales ha permitido hasta ahora al planeta soportar la expansión económica experimentada desde la revolución industrial, pero:

*"Although there is nothing in endogenous growth theory implying that these trends will necessarily sustain development into the indefinite future, nevertheless the theory does imply that with enough innovations, and the right direction of innovations, such an outcome is at least within the realm of possibility"* (Aghion - Howitt, 1988, p. 151).

Y puede afirmarse, además, que una de las condiciones básicas para que el crecimiento sea sostenible es la siguiente: el valor de la elasticidad de sustitución intertemporal en el consumo debe ser menor que la unidad, en el sentido de que debe actuar como una restricción que es precisa para evitar que los agentes racionales elijan un nivel de deterioro ambiental que supere la capacidad de reacción del medio ambiente.

El optimismo tecnológico, efectivamente, se refuerza con la utilización de modelos del tipo schumpeteriano, aunque el problema de los recursos naturales agotables es menos importante que los problemas relacionados con la polución y contaminación ambiental.

## **Conclusiones**

---

- Los modelos neoclásicos de crecimiento sostenible han incorporado elementos importantes y necesarios para el estudio del problema ambiental a largo plazo. Como puede deducirse de este análisis, actualmente son más variados y ricos en matices de lo que podría pensarse a priori.
- Incluyen en la descripción de su proceso de producción la interacción con el medio ambiente de diversas maneras; ya sea mediante la inclusión de supuestos acerca de la posibilidad de sustitución del capital natural, las condiciones de balance de materiales, las consecuencias del principio de entropía y la modelación de funciones del medio ambiente como proveedor de insumos, proveedor de energía, o sumidero o, incluso, haciendo algunas aproximaciones a restricciones de capacidad de carga o umbral ecológico.
- Si bien es cierto que algunos críticos agudos, por ejemplo Georgescu, Roegen y Herman Daly, han señalado como una falla imputable al modelo neoclásico básico la ausencia de interacciones con el medio ambiente (describiéndolo como un modelo en el que el sistema económico se representa como un flujo circular monetario cerrado); puede verificarse que el desarrollo de la economía ambiental y su integración en la economía del crecimiento, ha dado como resultado una evolución que implica que no pueda decirse actualmente que tal crítica es pertinente en un sentido estricto.
- Tanto el diagnóstico como la formulación de políticas económicas en términos de los modelos neoclásicos de crecimiento sostenible dependen sensiblemente de dos elementos: la especificación de la función de producción y la especificación de la interacción economía/medio ambiente.
- La política de sostenibilidad débil debe entenderse como aquella en la que se asu-

me la posibilidad de sustituir los tipos de capital de los que dispone la sociedad; aunque puede decirse que es posible que sea necesaria una política de sostenibilidad fuerte (por ejemplo en el modelo secundario), tal posibilidad es considerada –en general– como menos relevante desde el punto de vista empírico, por los economistas neoclásicos.

- La economía neoclásica ha desarrollado, a partir de la aceptación de estos principios, variantes diferentes y dos cursos de acción claramente identificables: en un caso, se supone que las restricciones "físicas" permiten la coexistencia de la actividad económica y el medio ambiente prácticamente "por siempre" (esto, en el modelo principal). En el otro, las restricciones físicas pueden impedir esa coexistencia muy prolongada (modelo secundario). Las políticas derivadas en el primer caso están fuertemente relacionadas con un manejo competitivo de los mercados, los que se supone funcionan como mecanismos que proporcionan las señales correctas respecto del estado de los recursos naturales. En el segundo caso, las políticas están relacionadas con medidas de regulación, establecimiento de impuestos y elevación "artificial" de los precios de los recursos naturales; es decir, un curso de acción similar al propuesto por la economía ecológica.
- La consideración de las restricciones físicas puede implicar que el papel del mercado sea primordial o secundario, según sea el caso. Aún teniendo en cuenta que posiblemente el modelo optimista (o modelo principal) sea plausible, algunos autores han insistido en señalar algunas limitaciones importantes de este:
 

*"we believed that one of the most important lessons to be drawn from the literature surveyed here is that sustainability is not synonymous with or automatically achieved by efficiency in the conventional sense of maximizing the present value of utility over time"* (Toman, Pezzey, Krautkraemer, 1995, p. 157).
- Podría ocurrir que la tasa total de ahorro (expresada tanto en acumulación de capital como en mantenimiento del capital natural) fuese demasiado baja para mantener o expandir la utilidad, aun cuando las posibilidades de disfrutar de los beneficios del cambio técnico sean favorables.
- La construcción matemática de los modelos, que hace equivalentes todos los tipos de capital, podría dar menos importancia al mantenimiento del capital natural, de la que realmente tiene si se considera que muchas funciones ambientales son insustituibles y que los daños causados al medio ambiente pueden ser irreversibles y esta situación es capturada de manera muy imperfecta. En consecuencia, las prescripciones de política usuales –internalizar las externalidades ambientales e introducir mejoras en las condiciones competitivas de los mercados– pueden ser insuficientes.
- Otra de las implicaciones importantes del modelo de sostenibilidad débil es que la sostenibilidad puede ser alcanzada más fácilmente por economías con asignaciones altas de capital (las sociedades más pobres pueden tardar más tiempo o simplemente pueden ser insostenibles).

- Una de las limitaciones más importantes de la concepción neoclásica del crecimiento sostenible es el énfasis puesto en dos de las funciones del capital natural (fuente-sumidero). Por contraste, puede decirse que si se asume que el medioambiente es una red de ecosistemas que provee servicios ambientales singulares; debe considerarse la posibilidad de conservar la capacidad de esa red para proveer bienestar en vez de privilegiar la conservación de algunos recursos naturales aislados ("museos de naturaleza").
- Los modelos principal y secundario exhiben problemas de especificación respecto del primer principio termodinámico (el conjunto de producción no incluye la generación de desechos). En cuanto al segundo principio, el modelo principal se basa en su exclusión, en tanto que el secundario, además de incluir los efectos entrópicos, aporta elementos teóricos novedosos e importantes al establecer la correcta especificación que el conjunto de producción debe tener si se asume que las reservas energéticas son agotables y, por lo tanto, la forma de la función de producción debe variar substancialmente.
- Las consecuencias para la política económica, en general, son variadas: puede el analista pasar desde el optimismo tecnológico acerca de las posibilidades de alcanzar el objetivo de sostenibilidad si usamos el modelo principal, hasta el pesimismo tecnológico derivado de las limitaciones que las posibilidades de sustitución tecnológica exhibe en el modelo secundario: la imposibilidad de alcanzar la sostenibilidad.

## Bibliografía

---

- AGHION, Philippe; HOWITT, Peter (1998). *Endogenous growth theory*. Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Ma, 1998.
- ARROW, Kenneth, et. al. (2002). *Are we consuming too much?* Beijer Institute, Discussion Paper No. 151.
- BARBIER y MARKANDYA (1990). *The conditions for achieving environmentally sustainable development*. European Economic Review Volume 34, Issues 2-3, pp. 659-669.
- DASGUPTA, Partha (1994). *Optimal versus sustainable development*, en I. Serageldin and A. Steer eds., *Valuing the Environment: Proceedings of the First Annual International Conference on Environmentally sustainable development*, Washington, DC, World Bank, 1994, pp. 35-46.
- DIXON, John A.; FALLON, Louise (1991). *Economic analysis of environmental impacts*, Earthscan, London, 2 ed.
- FAUCHEAUX, S.; PEARCE, D.; PROOPS, J. (1996). *Models of sustainable development*. Edward Elgar, 1996.
- PEZZEY, John (1989). *Economic análisis of sustainable growth and sustainable development*. The World Bank Environment Department Working Paper No. 15, The World Bank Policy Planning And Research Staff – Environment Department, March 1989.
- PITCHFORD, J. (1997). *Variable returns to scale, resources and population*. In Kenneth J. Arrow, Yew-Kwang Ng and Xiaokai Yang (1997). *Increasing returns and economic analysis*, MacMillan Press, Basingstoke.
- SOLOW, Robert M. (1974). *The economics of resources or the resources of economics*, American Economic Review, Richard T. Ely Lecture, mayo, 1974, Vol. 64, No. 2, pp. 1-14.
- SOLOW, Robert (1994). *An almost practical step toward sustainability*. In *Assigning economic value to natural resources*, National Academy Press, Washington, D.C, 1994, pp. 17-29.
- TOMAN, Michael A.; PEZZEY, John and KRAUTKRAMER, Jeffrey (1995). *Neoclassical economic growth theory and 'sustainability'*. In D. Bromley, ed., *Handbook of Environmental Economics*. Oxford: Blackwell.
- VAN DEN BERGH, et. al. (1996). *Ecological economics and sustainable development: Theory, methods and applications*. Edward Elgar, U.K. 1996.