

# ECONOMÍA DE LA SOSTENIBILIDAD: PERSPECTIVAS ECONÓMICAS Y ECOLÓGICAS

**Francisco Correa Restrepo\***

## **RESUMEN**

*Este artículo tiene como objetivo realizar una revisión analítica del concepto de sostenibilidad desde las perspectivas económica y ecológica. En particular, examina los dos paradigmas de la sostenibilidad, a saber: la sostenibilidad fuerte y la sostenibilidad débil. Igualmente, presenta dos propuestas de medición de la sostenibilidad, a partir de las perspectivas analizadas, y establece el modelo de Common y Perrings el cual combina los conceptos ecológicos de estabilidad y resiliencia con la eficiencia económica, buscando integrar las perspectivas económicas y ecológicas. Como conclusión central, se plantea que la sostenibilidad ecológica reduce la deseabilidad del crecimiento económico, en el sentido de que a lo largo de una senda sostenible óptima cualquier efecto no deseado sobre la resiliencia de los ecosistemas debe ser deducido de los beneficios económicos, disminuyendo así la riqueza generada a partir de la actividad económica.*

**Palabras clave:** Sostenibilidad, crecimiento económico, resiliencia, ecosistemas, capital natural, eficiencia económica.

---

\* Profesor auxiliar de la Universidad de Medellín.

## **ABSTRACT**

*In this paper I aim at an analytical discussion and revision of the concept of sustainability from both economic and ecological perspective. In particular, we examine two paradigms for this concept: strong and weak sustainability, give two proposals for measuring it from both perspectives and establish Common-Perrings model to combine ecological stability and resilience concepts with economic efficiency, with the purpose of integrating ecological and economic perspectives. Finally, our main conclusion is that ecological sustainability reduces desirability of economic growth, in the sense that along any sustainable path any not desired effect on ecosystem resilience must be deduced of economical benefits thereby lessening wealth generated by economical activities.*

**Key words:** *Sustainability, economic growth, resilience, ecosystems, natural capital, economic efficiency.*

## **INTRODUCCIÓN**

La actividad económica es sinónimo de apropiación y transformación de la naturaleza en beneficio de la satisfacción de necesidades individuales y sociales. De esta manera, el crecimiento económico conduce, necesariamente, a una disminución de los stocks disponibles de recursos naturales y a la degradación general del medio ambiente.

Ahora, a pesar de que en el ámbito mundial los procesos de transformación y consumo de recursos naturales se aceleraron desde finales del siglo XIX, el problema ambiental sólo se convirtió en una cuestión de importancia internacional a partir de 1972, cuando se celebró en Estocolmo la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente. En los años posteriores, las actividades encaminadas a integrar el medio ambiente en los planes de desarrollo y en los procesos de adopción de decisiones en el plano nacional no llegaron muy lejos. Aunque se avanzó algo respecto de cuestiones científicas y técnicas, se siguió soslayando la cuestión del medio ambiente en el plano político-económico

y se fueron agravando, entre otros problemas ambientales, el agotamiento del ozono, el calentamiento de la Tierra y la degradación de los bosques.

Cuando las Naciones Unidas establecieron la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo en 1983, era evidente que la protección del medio ambiente iba a convertirse en una cuestión de supervivencia para todos (Correa, 2003b). La comisión presidida por Gro Harlem Brundtland (Noruega) llegó a la conclusión de que para satisfacer "las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer las propias" la protección del medio ambiente y el crecimiento económico habrían de abordarse como una sola cuestión.

Así, la preocupación por interiorizar la degradación del medio ambiente y el agotamiento de los recursos naturales en la toma de decisiones económicas no es algo nuevo. De hecho, hoy la preocupación va más allá de la conservación del medio ambiente. En el centro de la problemática ambiental está la forma en que se está obteniendo el desarrollo económico de la sociedad.

En un intento de abordar los problemas crecientes de deterioro y agotamiento acelerado del medio ambiente y los recursos naturales, la economía y la ecología han establecido conceptos y herramientas de análisis, a partir de esferas de conocimientos diferentes y de fundamentos filosóficos y éticos contrarios. Tanto la economía ecológica, que se apoya en las ciencias ecológicas y físicas, como la economía tradicional, han centrado todo su andamiaje analítico en el concepto de desarrollo sostenible. En este sentido, han establecido definiciones del concepto así como principios y reglas operacionales para lograr el objetivo del desarrollo sostenible establecido bajo su lupa. Sin embargo, para abordar el análisis de cómo lograr el desarrollo sostenible es necesario clarificar el concepto, pues las definiciones establecidas por ambas perspectivas son aún ambiguas. Para lo anterior, es importante definir el concepto de sostenibilidad por si mismo, y a partir de esto establecer qué es lo que se quiere sostener. Luego de este paso, puede entrarse a establecerse principios, proponer medidas y métodos de valoración de los impactos de las actividades humanas sobre el medio ambiente con el fin obtener los niveles de sostenibilidad definidos por la sociedad.

Este artículo, en su primera sección, realiza una revisión del concepto de sostenibilidad desde las perspectivas económica y ecológica. En la segunda sección se examinan los dos paradigmas de la sostenibilidad, a saber: la *sostenibilidad fuerte* y la *sostenibilidad débil*. En el tercer apartado se discuten los contrastes entre las perspectivas de los ecologistas y los economistas entorno a los temas de la sustituibilidad de recursos y la reversibilidad de las consecuencias del cambio ecológico. La sección cuatro discute el problema de la asignación intergeneracional de recursos y presenta dos propuestas de medición de la sostenibilidad, establecidas a partir de las perspectivas de la sostenibilidad débil y fuerte. Por su parte la quinta sección, presenta el modelo Common-Perrings, el cual pretende integrar las perspectivas económicas y ecológicas. Para terminar, la sección seis presenta algunas conclusiones obtenidas en este trabajo.

## 1. EL EJE DE LA PROBLEMÁTICA: LA CONCEPTUALIZACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD

¿Qué es lo que debe ser sostenido? Inicialmente una respuesta que se ha dado es que la sociedad desea sostener el ingreso per cápita actual. Sin embargo, la pregunta es ¿cuál es el ingreso per cápita que se quiere sostener, el ingreso per cápita de los países ricos o el de los países pobres?, o ¿es el ingreso per cápita global? Si es el ingreso per cápita global el que debe ser mantenido, entonces, a menos que el producto per cápita global pueda ser incrementado a través de la reducción de la población, el incremento del producto o ambos, puede ser necesario redistribuir, por razones éticas, el ingreso desde los grupos de población más ricos hacia los grupos más pobres. Sin embargo, Van Kooten y Bulte (2000) argumentan que redistribuir el ingreso puede llegar a generar incentivos adversos que terminan realmente reduciendo el producto.

Ahora, sin crecimiento económico no es posible mantener el ingreso per cápita global al nivel actual, a no ser que se le nieguen oportunidades a los países en desarrollo para aumentar sus niveles de vida. Por lo anterior, la Comisión Mundial sobre el Me-

dio Ambiente y el Desarrollo adicionó la palabra “Desarrollo” (Van Kooten y Bulte, 2000). Pareciera que el concepto de sostenibilidad debe incluir oportunidades para aumentar los niveles de vida de la gente más pobre, aunque manteniendo a los grupos de ingresos más altos en sus niveles actuales (o en niveles incluso más altos). Aunque esto es un juicio de valor, es realista debido a que es poco probable que los países más ricos –y aquellos en proceso de aumentar sus niveles de calidad de vida a los niveles de los países de más altos ingresos– hagan un sacrificio significativo de sus ingresos. Lo anterior se observa, por ejemplo, a través del fallo de los países desarrollados en Kyoto (Japón) en 1997 para acordar sanciones de comercio significantes sobre aquellas naciones que subsecuentemente incumplan en el logro de los objetivos de reducción de las emisiones de Dióxido de Carbono. Las sanciones morales no son adecuadas para prevenir el cambio climático que está ocurriendo, o para convencer a los países ricos de aceptar la disminución de sus niveles de vida actuales para ayudar a los países más pobres.

Más que el ingreso per cápita, quizás es el stock de capital natural, o el capital humano junto con el capital natural, lo que debe ser mantenido. No obstante, este objetivo de la sostenibilidad crea su propio conjunto de problemas. Puede ser que el objetivo es sostener el crecimiento económico, pero entonces surgen las mismas preguntas anteriores: ¿Cuál crecimiento debe ser sostenido? ¿Qué tasa de crecimiento debe ser sostenida? Algunos plantean que son los ecosistemas de la tierra o las funciones que son soporte de vida, diversamente referidos como el medio ambiente, los que deben ser sostenidos. Al respecto Common y Perrings (1992) argumentan “que la sostenibilidad ecológica no es, entonces, un estado bien definido para ser obtenido por simples reglas. Se puede decir que es más bien la *resiliencia* del sistema la que debe ser mantenida en el tiempo”. Hasta cierto grado, esto implica una salida desde el centro de los deseos y preferencias humanas. Un tema crucial es si la estructura y las características del sistema ecológico, así como su dinámica, son mantenidos.

De esta manera, dos conceptos, resiliencia y estabilidad, son de gran importancia. La estabilidad se refiere a la capacidad de las poblaciones para retornar al *equilibrio* después que ha ocurrido alguna disturbancia o alteración de los ecosistemas, mientras

que la *resiliencia* es un concepto más amplio que mide la propensión de los ecosistemas a mantener sus principales rasgos después de alguna alteración. Se ha argumentado que la resiliencia del sistema está relacionada a la diversidad sistémica, a la complejidad y a la interconexidad (Common y Perrings, 1992), sugiriendo que los impactos humanos que reducen esas propiedades deben ser evitados. Sin embargo, recientes ideas ecológicas indican que las articulaciones entre complejidad y estabilidad, por ejemplo, pueden ser extremadamente complicadas. Así, la inclusión de especies en modelos estocásticos multi-especies no necesariamente reduce las fluctuaciones en el tamaño de la población de las especies componentes, y hace mucho más difícil la gestión del medio ambiente. Además, las articulaciones entre estabilidad de poblaciones separadas y la resiliencia del sistema pueden no ser sencillas, y distinguir las especies claves puede ser extremadamente difícil (Van Kooten y Bulte, 2000).

En general, los proponentes de la perspectiva de la “estabilidad del ecosistema” tienden a favorecer la disminución de la actividad económica, de modo que las interacciones entre la economía y el medio ambiente no impacten negativamente la resiliencia del sistema. No obstante, hay desacuerdos a cerca de la resiliencia de los ecosistemas, sobre cómo las actividades humanas afectan los ecosistemas de la tierra y en qué grado la intervención humana interfiere –positiva o negativamente– con las funciones que son soporte de vida. Todas ellas son cuestiones tan importantes como el costo de oportunidad de mantener el capital natural. Aquellos que se interesan en el posible colapso de los ecosistemas frecuentemente argumentan que se debe mantener el capital natural en su nivel actual y, en algunos casos –como los gases efecto invernadero en la atmósfera– las decisiones deben ser tomadas para restaurar los ecosistemas a su estado inicial sin consideración a los costos involucrados. Dado la discusión anterior, no hay un consenso sobre lo que debe ser sostenido, pues todas las definiciones de sostenibilidad carecen de rigor.

Ahora, el rol de la inversión es claramente importante y, en especial, la forma que ésta toma. Esta inversión toma forma no sólo en capital natural –protección de biodiversidad, reforestación, mantenimiento de ecosistemas– sino también en capital reproducible –capital manufacturado y conocimiento–. Ahora, gran parte

del debate entorno a la sostenibilidad tiene que ver con: i) la asignación de recursos para inversión entre capital natural y capital reproducible y, ii) el consumo *versus* la inversión, ya que la inversión implica la necesidad de sacrificar consumo<sup>1</sup>. Ya Keynes, hace más de seis décadas escribió que el mundo occidental progresó debido a que los propietarios del capital fueron libres de consumir los beneficios pero se abstuvieron de hacerlo, y los trabajadores mostraron excesivas demandas pero no las hicieron efectivas. Puede parecer que las generaciones precedentes redujeron el consumo a fin de proveer más para las generaciones futuras. Sin embargo, las generaciones anteriores se centraron en la inversión en capital manufacturado, el cual requirió del capital natural para producirlo. ¿Pueden haber estado dispuestas las generaciones pasadas a invertir en capital natural? White (1967), citado por Van Kooten y Bulte (2000), argumenta que “frenando el consumo e invirtiendo en capital reproducible, las generaciones anteriores crearon altos niveles de prosperidad que condujeron a grandes niveles de consumo que generaron una crisis ambiental”. Dejando de lado los argumentos acerca de la relación entre altos niveles de prosperidad y calidad ambiental, no es claro si la prosperidad *per se* o un cambio en la ética de la sociedad es la responsable por la conclusión de White de que el medio ambiente se ha deteriorado tanto hasta llegar a una situación de crisis (Van Kooten y Bulte, 2000).

Así, el concepto del desarrollo sostenible claramente involucra una dimensión ética. Implícitamente requiere juicios acerca de la relación correcta entre individuos y medio ambiente. Además, las definiciones de desarrollo sostenible, y mucha de la discusión que la rodea, sugieren el propósito, y éste sólo puede ser juzgado con argumentos éticos. Pero las diferencias existen también por otras razones. La noción de sostenibilidad encierra ambigüedades conceptuales que no pueden ser fácilmente resueltas debido a que ellas descansan en serios desacuerdos teóricos que trascienden las fronteras disciplinarias. En particular, los economistas y los ecologistas emplean diferentes conceptualizaciones para explicar las interacciones de los humanos con su medio ambiente. Los puntos de vista filosóficos varían, lo cual llega ser una fuente de desacuerdo que no es resuelta fácilmente. Muchos biólogos y ecologistas asumen un punto de vista malthusiano acerca de los

recursos naturales y su escasez, mientras los economistas ortodoxos han sido más optimistas con respecto a la capacidad de los humanos para gestionar la crisis ambiental.

Los ecologistas, han adoptado la posición de que el Estado debe intervenir para proteger los sistemas naturales, mientras que la mayor parte de los economistas enfatizan en el individuo y los derechos de propiedad. Así, mientras los primeros invocan por la gestión directa del Estado, los últimos perciben la sostenibilidad y el ambientalismo para estar asociados (y causados) con la creciente intervención pública en temas que tratan con la propiedad privada (Norton y Toman, 1997). En cualquier posición que se tome, la política y los intereses particulares pueden determinar bien cómo deben ser implementadas las políticas del desarrollo sostenible.

## **2. LOS PARADIGMAS DE LA SOSTENIBILIDAD Y EL MANTENIMIENTO DEL STOCK DE CAPITAL DE LA SOCIEDAD**

¿Qué forma de capital natural debe dejar la generación actual a las generaciones siguientes? Carbón, petróleo, gas natural y minerales son ejemplos de recursos que están, por su naturaleza, sujetos a agotamiento. Si el consumo continúa a las tasas actuales, llegará un punto del tiempo donde esos recursos ya no estarán disponibles –aunque los avances técnicos y los nuevos descubrimientos pueden retardar su agotamiento–. Obviamente, el desarrollo sostenible no puede implicar que a los recursos no renovables se les pueda prevenir su agotamiento, o aún mantener en su nivel actual de stock de existencia. Será necesario eventualmente reemplazar el flujo de servicios de recursos no renovables con servicios obtenidos de los recursos renovables. Al mismo tiempo, será necesario reducir los insumos de recursos naturales y el ambiente por unidad standard de producto. Esto implica una más alta resiliencia en el capital humano –conocimiento– y en el capital manufacturado. Sin embargo, debe anotarse que el capital reproducible utiliza recursos naturales y, por tanto, puede reducir la resiliencia de los ecosistemas.

Ahora, la teoría económica neoclásica tiene como supuesto central la sustitución perfecta entre capital y recursos naturales. Por tanto, este grado de sustituibilidad entre recursos naturales y capital es el eje central del debate hoy en la economía. Van Kooten y Bulte (2000) distinguen los dos puntos de vista que consideran la sostenibilidad, los cuales pueden ser referidos como los paradigmas neoclásico y ecológico, o mejor *los paradigmas de sostenibilidad débil y sostenibilidad fuerte*. Antes de analizar cada uno de estos conceptos, se debe definirlos. Daly y Cobb (1994) definen sostenibilidad débil y fuerte en términos de si el capital reproducible y el capital natural deben ser mantenidos intactos en conjunto –sostenibilidad débil– o separadamente –sostenibilidad fuerte–. En la perspectiva de la sostenibilidad débil se plantea que existe un alto grado de sustituibilidad entre el capital reproducible y el capital natural, mientras que la sostenibilidad fuerte asume que ellos son complementarios mas que sustitutos en la mayoría de las funciones de producción.

## 2.1. La sostenibilidad fuerte: el paradigma ecológico

Entre otros economistas, Daly y Cobb (1994) se inclinan a favor de la sostenibilidad fuerte por varias razones. Primero, algunos recursos naturales son esenciales para la producción, y su pérdida puede constituir un evento catastrófico. Segundo, aún para los procesos de producción donde el capital natural no es todavía un ingrediente esencial, la sustituibilidad declina a medida que los stocks de recursos son agotados. Finalmente, estos economistas argumentan que no hay sustitutos para muchos recursos naturales, especialmente los recursos silvestres donde la elasticidad de sustitución entre capital manufacturado y recursos naturales es cero debido al carácter único de algunas formas de capital natural. La implicación es que ciertos stocks de capital natural *crítico* deben ser conservados, sin consideración del costo de oportunidad que esto genera.

La posición ecológica disminuye el rol de los precios y del cambio tecnológico. Los precios son considerados señales imperfectas de la escasez del recurso debido a las imperfecciones del mercado –por el poder de las grandes compañías, el poder de los gobiernos propietarios de los recursos o porque los efec-

tos ambientales de la extracción del recurso no son reflejados en el precio del recurso-. Así mismo, los precios no capturan los intereses de las generaciones futuras, tan sólo reflejan las condiciones en el margen y, por tanto, no pueden ser usados para valorar stocks completos del recurso natural. Van Kooten y Bulte (2000) afirman que no se puede confiar en los precios para señalar la escasez porque los propietarios de recursos tienen, probablemente, un punto de vista demasiado optimista del cambio tecnológico. Así, ellos continuarán ofreciendo recursos naturales, aunque su escasez se agudice, por miedo a que el cambio tecnológico los lleve a tener precios más bajos en el futuro. Además, los horizontes de tiempo de los propietarios privados de los recursos son demasiado cortos para conducir a un uso sostenible del recurso. Así, el horizonte de corto plazo causa una excesiva oferta de recursos naturales, en la medida que los precios disminuyen. De esta manera, puede plantearse que el punto de vista ecológico es pesimista acerca de la contribución futura del cambio tecnológico, el cual es considerado demasiado incierto para confiar en la resolución de los problemas ambientales.

Una implicación para la gestión de recursos, desde la perspectiva de la economía ecológica, es que no es el capital manufacturado el que debe ser mantenido, sino que ambos capitales deben ser mantenidos de forma independiente. Sin embargo, aún dentro de la tradición de la *sostenibilidad fuerte* hay diferentes puntos de vista entorno al tema de si el capital natural es más amplio que una simple categoría. Algunos invocan por el mantenimiento separado de cada elemento del stock de capital natural, o de todos los componentes y las relaciones estructurales entre ellos. Otro punto de vista establece que únicamente los elementos críticos específicos del stock de capital natural deben ser protegidos, mientras que se permite la sustitución entre otros (Barbier y Markandya, 1990). Cuando es permitida la sustitución entre dos diferentes subclases de capital natural se encuentra, en muchos casos, un problema de agregación. Por tanto, se debe preguntar ¿Es significante agregar stocks de peces, biodiversidad y recursos agotables en unidades físicas? ¿Deben ser usadas unidades monetarias en vez de unidades físicas?

El punto de vista ecológico ha estado influenciado por los desarrollos de la biología y la ecología. El interés acerca del falle-

cimiento (biológico, meteorológico) de los sistemas naturales es un tema común en la literatura de la biología y la ecología, y está en el centro de la perspectiva de la sostenibilidad fuerte. Este punto de vista frecuentemente recomienda políticas públicas como control de población, regulación e incentivos para prevenir la pérdida de especies, acuerdos para limitar el comercio de especies amenazadas y en peligro de extinción, acuerdos internacionales para reducir las emisiones de CO<sub>2</sub>, restricciones sobre el libre comercio y otras políticas intervencionistas similares.

## **2.2. Sostenibilidad débil: el paradigma neoclásico**

El paradigma neoclásico está asociado con economistas como Simon, Solow, Hartwick, entre otros. Este paradigma es, como ya se ha visto, la antítesis de la perspectiva ecológica. El punto de vista neoclásico plantea que a medida que los recursos naturales son escasos, sus precios relativos se incrementan, lo cual lleva a la conservación y a la sustitución hacia recursos alternativos y al desarrollo y uso de nuevas tecnologías. El incremento de los precios relativos causa una sustitución de aquellos recursos que se están volviendo escasos. Los neoclásicos subrayan la evidencia empírica para indicar que lo que ha sucedido en el pasado continúa hoy.

La perspectiva neoclásica se basa en la idea de que la elasticidad de sustitución entre el capital natural y el capital reproducible es alta –algunos neoclásicos más ortodoxos incluso han llegado a sugerir que es infinita–. Estos economistas plantean que hay dos posibilidades para el sostenimiento del crecimiento. Primero, hay una probabilidad de sustituibilidad entre capital reproducible y recursos no renovables de modo que el crecimiento económico pueda ser sostenido mientras se genera una continua disminución en el stock de los recursos no renovables<sup>2</sup>. Segundo, el cambio tecnológico permitirá que la sociedad aumente la confianza en la sustitución de unos recursos naturales por otros de la misma clase, así como en el avance en la sustitución de recursos no renovables. Por tanto, los economistas neoclásicos son optimistas acerca del potencial para el cambio tecnológico en el futuro. Sin embargo, la articulación entre la evidencia del pasado y las proyecciones futuras es un tema controversial entre estas dos

perspectivas. En este sentido, basado en las tendencias históricas y actuales, Simon (1996) no considera que el crecimiento de la población haya sido un problema, mientras que otros autores consideran, a partir de los mismos datos, que el crecimiento de la población es la principal amenaza al ambiente y al desarrollo sostenible.

De otro lado, muchos economistas plantean que ha habido pocas extinciones de especies que estén documentadas. La respuesta frente a esto, desde la visión ecológica, es que el pasado no es la guía hacia el futuro. Sin embargo, Simon (1996) afirma que "en la ausencia de otra información, el pasado es una guía confiable para el futuro". Por tanto, los diversos puntos de vista con respecto al futuro son evidentes. Un ejemplo de ello es el debate alrededor de la hipótesis de la *curva ambiental de Kuznets*. Esta hipótesis plantea que la relación entre el nivel de ingresos y calidad ambiental tiene forma de *U* invertida. Así, se afirma que en niveles de bajos ingresos la degradación del medio ambiente aumenta hasta un *punto umbral* donde el deterioro ambiental se detiene para luego disminuir a medida que el nivel de actividad económica, y por tanto el nivel de ingresos, se incrementa. De esta manera, tal hipótesis ha llevado a algunos investigadores a especular que puede ser posible crecer por fuera de los problemas ambientales (Van Kooten y Bulte, 2000).

### 3. LOS CONCEPTOS DE SUSTITUIBILIDAD Y REVERSIBILIDAD DESDE LAS PERSPECTIVAS ECONÓMICA Y ECOLÓGICA

En principio, debe ser notado que los economistas y los ecologistas en sus esfuerzos analíticos, y en los argumentos de política pública, frecuentemente asignan diferentes significados a los conceptos de sustituibilidad y reversibilidad. Para los economistas sustituibilidad se refiere a la capacidad de alterar las actividades de producción y consumo en el caso de que haya creciente escasez de algún recurso a fin de mantener un flujo total deseado de servicios. La producción en esta perspectiva se puede referir a la actividad humana o al acto de beneficiarse de valo-

res ofrecidos directamente por la naturaleza. Los servicios y los recursos se refieren a las cosas valoradas por los individuos, manipuladas por las actividades humanas y proporcionadas igualmente por la naturaleza. Desde esta visión, la escasez está relacionada con el costo relativo creciente, es decir, con cantidad de otros bienes y servicios valorados que deben ser abandonados por el insumo en cuestión.

Dadas esas definiciones, la reversibilidad se refiere también a las consecuencias económicas, ampliamente definidas para incluir los valores de mercado y de no mercado, más que a los estados físicos de los ecosistemas por si mismos. Ahora, los ecologistas usan los términos de sustituibilidad y reversibilidad para referirse a las propiedades físicas de los ecosistemas mismos. La reversibilidad de una condición está relacionada a la resiliencia de un ecosistema; a su capacidad de retornar a un alto nivel de función ecológica después de ser alterado. La sustituibilidad es una forma de reemplazo: si alguna cualidad del sistema es disminuida, ¿existen otras fuentes de esa cualidad? Así, el tema de la sustituibilidad asume particular importancia cuando la degradación del medio ambiente es grande en escala. Los economistas se refieren al desarrollo sostenible en el sentido del mantenimiento de niveles aceptables de bienestar humano en el tiempo y así están interesados en la capacidad del medio ambiente y otros activos sociales para satisfacer las necesidades y deseos humanos (Norton y Toman, 1997). Esas necesidades y deseos pueden ser concebidos muy ampliamente, abarcando diversas de variedades de preservación y de razones de legado además de los intereses directos en el uso de un ecosistema o consumo de recursos.

Sin embargo, las condiciones de los ecosistemas son sólo una de las formas en las cuales el bienestar de la sociedad está siendo afectado. Si las posibilidades de sustitución económica son lo suficientemente grandes, para los economistas el trastorno natural no es una causa especial para preocuparse si en el modelo económico es ofrecida una tasa de ahorro de la sociedad tan alta como para compensar por la reducción del capital natural y, por tanto, producir sendas de bienestar sostenibles. En este caso, cambios irreversibles en el estado físico de los ecosistemas no son significantes, aunque las consecuencias económicas de cam-

bios físicos irreversibles necesitan ser contabilizados<sup>3</sup>. No obstante, lo contrario también es verdad: si las posibilidades de sustitución son limitadas, entonces la satisfacción de demandas actuales de consumo y las preocupaciones de equidad intergeneracional pueden conducir a una mayor necesidad de salvaguardar el capital natural. Aquí las irreversibilidades físicas pueden aumentar la preocupación acerca de los costos económicos irreversibles, los cuales son un interés social importante.

El tema de la sustitución va más allá del reemplazo de recursos por medio del progreso tecnológico, o de la inversión por agotamiento de recursos energéticos o minerales. La sustitución también involucra la aptitud de compensar una capacidad disminuida del ambiente natural para proveer la absorción de desechos, el mantenimiento del sistema ecológico y los servicios estéticos. Las cuestiones acerca de la sustitución y el progreso técnico versus umbrales y riesgos de catástrofe son especialmente relevantes cuando se enfrentan daños a gran escala en los sistemas naturales cuyas funciones económicas se comprenden poco (Arrow *et al.*, 1995).

La literatura sobre los recursos agotables y el progreso económico muestra que una capacidad relativamente sustancial, para sustituir otros insumos por servicios disminuidos del capital natural, es necesaria para mantener el consumo de bienes y servicios finales en el tiempo (Solow, 1974). La dificultad con esas condiciones es que ellas parecen ser inconsistentes con las leyes físicas, ya que la primera ley de la termodinámica requiere la conservación de la masa y la energía. Así, plantear, por ejemplo, que la economía podría funcionar con desaparición de pequeñas cantidades de energía es algo problemático. Parece más razonable asumir un requerimiento de insumos mínimo y una productividad limitada de materiales y de insumos energéticos, a partir de la restricción de la producción total a un nivel coherente con la capacidad de los insumos de recursos renovables y las capacidades de absorción de desechos. No obstante, sigue manteniéndose el cuestionamiento empírico de qué tan rigurosas pueden ser esas restricciones sobre las diferentes escalas espaciales y temporales.

En contraste con la perspectiva económica de los ecosistemas como "fábrica de servicios", los ecologistas ven esos sis-

temas como conjuntos de procesos dinámicos complejos que están organizados sobre múltiples escalas (Norton y Toman, 1997). De un lado, los componentes de pequeña escala o subsistemas –por ejemplo, pequeñas zonas de bosques– responden rápidamente a estímulos y se pueden recuperar relativamente rápido de los trastornos. Así, hay mayor grado de sustitución a esta escala. Por esto, el paradigma de la sustitución en economía puede ajustarse bien con la función de los sistemas ecológicos de baja escala como fuentes de servicios. Por el contrario, los sistemas de gran escala –como sistemas forestales– responden más lentamente y con menos capacidad de ajuste. Aunque los sistemas de gran escala son resilientes hasta cierto punto, y es posible empujarlos más allá de ese punto, provocar cambios rápidos en dicha función de resiliencia puede requerir grandes cantidades de tiempo.

#### **4. VALORACIÓN Y MODELACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD**

Una tema de desacuerdo entre los ecologistas y los economistas es el área de los estudios de valoración y modelación, la cual es algunas veces referida como *el problema de la contabilidad ambiental*. En esta sección se examinan algunos de los problemas conceptuales y éticos más difíciles que comporta la cuestión de cómo valorar los cambios ambientales, colocando atención especial a los cambios de gran magnitud a nivel de escala física que se van revelando lentamente –en décadas, generaciones y siglos. En particular, se examina el problema de la agregación del bienestar social entre generaciones y se plantean dos propuestas para la medición del desarrollo sostenible, a partir de las perspectivas económicas y ecológicas, ya referidas como sostenibilidad débil y fuerte, respectivamente.

##### **4.1. La tasa social de descuento y la equidad intergeneracional**

Si la sostenibilidad significa algo ella representa una preocupación para el futuro, especialmente cuando se incluyen horizon-

tes más allá del periodo en que existe una generación. Pero existe muy poco acuerdo entre las disciplinas de las ciencias sociales y humanas al momento de considerar cómo formular y evaluar nuestra preocupación por el bienestar de las generaciones futuras o nuestras obligaciones por ellas (Norton y Toman, 1997). Ninguna disciplina –ni la ecología, ni los economía, ni la filosofía– provee un entendimiento completo y coherente de los valores humanos y de cómo se aplican dichos valores a través de las múltiples generaciones.

Los economistas no abarcan un único enfoque para determinar las distribuciones intertemporales del bienestar social. Generalmente, éstos argumentan que el descuento es esencial para explicar las preferencias intertemporales reveladas en el comportamiento individual y el potencial para que el futuro sea mejor que el presente como una consecuencia del crecimiento económico. Sin embargo, muchos economistas también plantean que este enfoque ortodoxo para el descuento es inadecuado para analizar los trade-offs del bienestar intergeneracional (Correa, 2003a). Una forma en que esta preocupación puede ser tratada es definir una tasa social de descuento para las asignaciones intergeneracionales, la cual es diferente de la tasa de preferencia intertemporal individual. En el contexto social la tasa de descuento es la expresión, al menos en parte, del interés en la equidad entre la generación presente y las generaciones futuras –y entre generaciones futuras– debido a que dicha tasa expresa tanto la expectativa de las tasas de retorno disponibles para las generaciones futuras en sus usos alternativos del capital así como el crecimiento del ingreso de un individuo representativo.

Ahora, para Arrow (1995), cuando se considera a otras generaciones surge inevitablemente el principio de universalidad. ¿Por qué, desde el punto de vista ético, otras generaciones no deben ser consideradas como iguales a la generación presente? Con políticas de corto plazo el análisis costo-beneficio está basado en la igualdad. Luego ¿Por qué este criterio no se extiende al futuro? El hecho de que un individuo vivirá en algún tiempo futuro en vez de hoy no parece ser una distinción moralmente relevante. En este sentido, se argumenta que las políticas sociales adecuadas –como la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>, que aminora el problema del cambio climático en el futuro– deben ser elegidas

para que se trate igualmente a la generación presente y a las generaciones futuras<sup>4</sup>. Arrow plantea que las generaciones presentes son conscientes de su obligación ética para tratar a todas las generaciones equitativamente, pero no necesariamente se sienten comprometidos a sacrificarse totalmente por esa responsabilidad. Así, este economista plantea que esto lleva a enfrentar un juego teórico de interpretación del comportamiento del ahorro en el cual el futuro como un todo es descontado exponencialmente, aunque a cada generación le gustaría ver que a todas las generaciones futuras se les tratará por igual.

Por último, una alternativa para integrar las preocupaciones ambientales en la elección de la tasa social de descuento reside en entender mejor los efectos ambientales y valorarlos en términos económicos. Es decir, se debe adicionar un parámetro de sostenibilidad en el análisis de la determinación de la tasa social de descuento. Una forma de aproximarse a la construcción de este de parámetro de sostenibilidad consiste en valorar los costos ambientales generados por la actividad económica y establecer el gasto ambiental necesario para proteger, conservar y mejorar el medio ambiente y los recursos naturales, con el fin de garantizar el mantenimiento del capital natural.

Correa (2003a) recomienda partir de la tasa social de descuento determinada a partir del costo de oportunidad del capital, en virtud de la mayor disponibilidad y calidad de información con respecto a la determinación de dicha tasa a partir de la tasa de interés de consumo. Seguidamente, esta tasa deberá ser ajustada por consideraciones ambientales por medio del parámetro de sostenibilidad. Obviamente, esta tasa deberá ser ajustada gradualmente en el tiempo en función de la evolución del gasto ambiental y de la calidad ambiental. Esta propuesta establece así la posibilidad de tener tasas de descuento declinantes en el tiempo debido a la mayor preocupación ambiental y, por tanto, al creciente gasto en programas de mejoramiento ambiental de los gobiernos.

#### **4.2. La modelación del desarrollo sostenible desde la perspectiva de la sostenibilidad débil**

John M. Hartwick (1977) demuestra que el logro de un sendero de consumo constante per cápita (el cual sería compatible con

la definición de sostenibilidad) resulta cuando el total de la renta de escasez de un recurso natural no renovable es invertido en capital<sup>5</sup>. Desde esta perspectiva el objetivo es maximizar el ingreso anual que puede ser obtenido del capital natural en el tiempo. Para El Serafy (1981), el ingreso neto ( $R$ ) obtenido del recurso no renovable puede ser asignado en un componente de gasto ( $RI$ ) y un componente de capital ( $RC$ ) —que debe ser apartado e invertido a una tasa de descuento ( $r$ )—. Ahora, El Serafy plantea que una vez el recurso no renovable es agotado, el componente de capital necesitará generar un ingreso anual a perpetuidad, que deberá ser igual al ingreso disponible realizado durante el período en que se extrajo el recurso agotable. El supuesto implícito es que las formas de capital natural y de capital reproducible son infinitamente sustituibles, de modo que la economía no se colapsa cuando el recurso es agotado. Ahora, considérese un recurso agotable que genera una renta neta de  $R_t$  por año, durante un período de  $T$  años, cual es el período en que se agota el recurso. El esquema para determinar el ingreso sostenible del recurso,  $RI$ , es:

$$RI_t = rRC = r \sum_t^T RC_t (1+r)^t = r \left[ \sum_t^T (R_t - RI_t) (1+r)^t \right]$$

Donde  $T$  es el tiempo de duración del recurso agotable.  $RI_t$  es ingreso anual sostenible y el término en paréntesis del lado derecho de la ecuación, es el fondo de capital disponible en el momento que el recurso no renovable se agote. El problema de la determinación del ingreso sostenible es más complicado cuando  $R_t$  varía de un año a otro y cuando hay incertidumbre.

Así, dados ciertos supuestos con respecto a la senda de agotamiento y la sustituibilidad entre capital natural y capital reproducible, la reinversión de la renta del recurso implica que el consumo puede ser infinitamente mantenido, aún si el stock de dicho recurso es agotado. La ecuación anterior es un simple ejemplo de la regla de Hartwick para la sostenibilidad. Hartwick asume una economía que explota un stock de un recurso no renovable que es únicamente utilizado como un insumo en la producción. Ahora, este autor define y como la extracción, de modo que ( $d_x/d_t = -y$ ). Ahora, el producto agregado  $Q$  está en función del trabajo, el capital y del recurso extraído, por lo que se obtiene la siguiente

expresión:

$$Q = Q(l, k, y), \frac{dk}{dt} = l \text{ donde}$$

De otro lado, el consumo es igual a la producción menos la inversión:  $C = Q - l$ .

El valor corriente hamiltoniano asociado con el problema de maximización del consumo sujeto a las restricciones dinámicas de explotación e inversión, puede ser escrito como:

$$H = Q(l, k, y) - l - \lambda y + \mu I$$

Donde  $\lambda$  y  $\mu$  son los precios sombra del recurso y del capital, respectivamente. Resolviendo resultan las condiciones necesarias para una solución optima:

$$(1) Qy = \lambda, \quad (2) \frac{d\lambda}{dt} = r\lambda \text{ (la regla de Hotelling)}$$
$$(3) \mu = 1$$

diferenciando  $C + l = Q$  con respecto al tiempo se obtiene:

$$(4) \frac{dC}{dt} + \frac{di}{dt} = Q_l \frac{dl}{dt} + Q_k \frac{dk}{dt} + Q_y \frac{dy}{dt}$$

Asumiendo que  $Q_k = r$  (la productividad marginal del capital es igual a la tasa descuento) en una economía competitiva y en la que la fuerza laboral es constante, o sea  $(dl/dt) = 0$ , la ecuación (4) se reduce a:

$$(5) \frac{dC}{dt} + \frac{di}{dt} = r \frac{dk}{dt} + \lambda \frac{dy}{dt}$$

Hartwick postula que las rentas del recurso deben ser invertidas de modo que  $l = \lambda y$  (regla de Hartwick). Diferenciando con respecto al tiempo resulta:

$$(6) \frac{dI}{dt} = y \frac{d\lambda}{dt} + \lambda \frac{dy}{dt}$$

sustituyendo (6) en (5), se obtiene:

$\frac{dC}{dt} = -y \frac{d\lambda}{dt} + r \frac{dk}{dt}$ , ahora como  $r = \frac{dk}{dt} = r\lambda y$  ya que  $\frac{dk}{dt} = I$  y además:

$$I = \lambda y \text{ entonces } \frac{dC}{dt} = -y \frac{d\lambda}{dt} + r\lambda y \quad (7)$$

Además,  $r\lambda = \frac{dk}{dt}$       luego       $\frac{dC}{dt} = -y \frac{d\lambda}{dt} + y \frac{d\lambda}{dt} = 0$

Así,  $\frac{dC}{dt} = 0$

Siguiendo la regla de Hartwick se mantendrá el valor de riqueza nacional total (natural y reproducible) constante cuando son usados para la valoración los precios sombra adecuados. Ahora, Toman *et al* (1995) argumenta que el agotamiento óptimo puede ser demasiado rápido para la sostenibilidad, causando que el precio y la renta del recurso sean bajas con respecto a los niveles sostenibles<sup>6</sup>. En este caso, aún la inversión de la renta total del recurso no asegurará la suficiente formación de capital para la sostenibilidad. En lugar de esto, la renta del recurso deberá ser medida usando los precios sombra que reflejan la restricción de sostenibilidad. Estimar esos precios es difícil y complejo, además está sujeto a una gran incertidumbre. Así, la regla de Hartwick es una condición necesaria pero no suficiente para mantener constante el consumo.

#### **4.3. La sostenibilidad fuerte: la medición de la brecha sostenible**

Desde la perspectiva de la sostenibilidad fuerte se plantea que primero es necesario determinar qué formas de capital natural deben ser preservadas y hasta qué grado. Como ya se ha visto, esto no es una tarea fácil. Segundo, se necesita información ambiental y sistemas de indicadores para determinar si esos niveles se cumplen, o si no qué tan grande es la brecha de la sostenibilidad. Como tercer paso, algunos autores han propuesto medir monetariamente los costos en los cuales la sociedad puede tener que incurrir a fin de alcanzar los niveles sostenibles, es decir, para cerrar la brecha de la sostenibilidad. Ahora, se revisarán más detalladamente esos pasos.

#### 4.3.1. La determinación de los niveles de sostenibilidad

Para Neumayer (1999) los rasgos distintivos del capital natural, junto con el riesgo y la incertidumbre asociados, solamente plantean una situación para la preservación cualitativa de ciertas formas de capital natural (Neumayer, 1999). Sin embargo, también este autor argumenta que aunque hay buenas razones para defender la no sustituibilidad de esas formas de capital natural como un todo, no necesariamente implican que ellas no puedan ser sustituidas en el margen. Si la mejor ciencia disponible no puede confiablemente determinar el punto después del cual una cierta forma de capital natural pierde su función básica de soporte de vida, pero sugiere que no ha sido alcanzado todavía, entonces ¿cómo decidir hasta qué grado de preservación se debe llegar? Una opción es balancear los beneficios y los costos para cada elección marginal de preservación. Para Neumayer (1999), cuando hay incertidumbre e ignorancia puede permitirse que los costos de la preservación sean mayores que los beneficios en un cierto factor, lo cual depende de la sociedad y de sus procesos políticos de toma de decisiones para establecer qué tan grande puede ser este factor. Alternativamente, la sociedad puede abstenerse de tomar cualquier decisión marginal en absoluto, deliberadamente ignorar los costos de oportunidad de la preservación y decidir preservar el stock total de capital natural *crítico*. Tal decisión puede ser justificada debido, primero, a la incertidumbre acerca de cuánto de un recurso ambiental debe ser preservado para mantener su función de soporte de vida intacta y, segundo, a causa que el capital natural es considerado como no sustituible, así como un proveedor directo de utilidad independiente de si las funciones básicas soportes de vida son amenazadas o no. Neumayer (1999) argumenta que ignorar los costos de oportunidad no parece estar en el mejor interés de las generaciones actuales o futuras. Sin embargo, seguramente es una posible respuesta al problema de la incertidumbre y la ignorancia con respecto al grado de preservación necesario para mantener las funciones soporte de vida de ciertas formas de capital. Así, es una posición defendible considerar el stock de capital existente como no sustituible en la provisión de utilidad directa para las generaciones futuras.

La medición de la sostenibilidad fuerte puede requerir de una clara determinación de qué formas de capital natural deben ser

preservadas y hasta qué grado. En efecto, si se quiere medir la sostenibilidad fuerte se tiene que definir claramente qué significa dicho concepto. No obstante, si se permite incorporar los costos de oportunidad en la determinación de los niveles sostenibles, entonces se tienen que realizar muchos estudios de valoración. Así, los requerimientos de información resultan ser muy grandes. De otro lado, si los costos de oportunidad pueden ser ignorados, es más fácil determinar los niveles de sostenibilidad. Hueting y Reijnders (1998), por ejemplo, interpretan la sostenibilidad como “el uso de las funciones ambientales vitales en una forma tal que ellas se mantienen disponibles indefinidamente”. Similarmente, Simon y Ekins (1998) establecen niveles para lo que ellos denominan “sostenibilidad ambiental” independiente de los costos de oportunidad. Los niveles sugeridos por estos autores son los siguientes:

- Clima estable
- Capa de ozono no agotada
- Biodiversidad a los niveles actuales
- Ninguna pérdida de funciones para los recursos no renovables
- Explotación sostenible, a un nivel deseado, para los recursos renovables
- Limitación de emisiones hasta cargas críticas a fin de proteger la salud humana
- Mantenimiento de un paisaje intacto
- Mantenimiento de la seguridad ambiental restringiendo los riesgos ambientales a bajos niveles

#### *4.3.2. La medición de la brecha sostenible en términos físicos*

Una vez han sido establecidos los niveles de sostenibilidad, el siguiente paso es monitorear si dichos niveles son logrados. Para esta tarea se necesita información ambiental y sistemas de indicadores. La diferencia entre estos dos elementos es que los sistemas de información reúnen una magnitud bastante grande de datos principalmente inconexos e intentan dar información

ambiental detallada, mientras que los sistemas de indicadores tratan de condensar los datos específicos en unos pocos indicadores significativos y relevantes para la política pública. Como Neumayer (1999) señala, si los indicadores juegan un papel importante en la toma de decisiones de política entonces su número ha de ser severamente limitado. Ahora, limitar el número de indicadores no es una labor fácil. Sin embargo, es raro encontrar a menudo una unidad base común. Sólo algunas veces pueden ser convertidas unidades diferentes en una unidad común: los gases de efecto invernadero pueden ser, por ejemplo, interpretados en unidades potenciales de calentamiento global y los recursos energéticos en toneladas equivalentes de petróleo.

Con respecto a lo anterior, la oficina central de estadísticas de Alemania, por ejemplo, ha emprendido grandes esfuerzos para llegar a un análisis total de la relación economía-ambiente a fin de describir cuantitativamente el estado del medio ambiente —el stock— y su uso —el flujo—. El análisis total consiste de estudios de recursos insumo-producto, estadísticas de emisiones de contaminación, de gastos ambientales y de tendencias temporales de los indicadores ambientales. Su principal objetivo es obtener algunos indicadores relevantes para la política pública con el fin de guiar la política ambiental. Igualmente, otros países e instituciones han oficialmente iniciado esfuerzos preliminares para establecer sistemas de indicadores ambientales, principalmente Canadá, Holanda, Reino Unido, la Unión Europea y la OECD (Neumayer, 1999). Este último grupo ha propuesto un marco de *presión-estado-respuesta* para indicadores ambientales, estableciendo indicadores de presión sobre el medio ambiente, indicadores del estado del medio ambiente e indicadores de respuesta humana a la degradación ambiental. A pesar de que muchos de los esfuerzos mencionados no han sido emprendidos con el objetivo explícito de proveer una medida para el logro de los niveles de sostenibilidad, ellos ofrecen la base sobre la cual pueden ser construidos indicadores concretos de sostenibilidad. Ahora, a pesar de todos los esfuerzos mencionados antes se necesita realizar una mayor cantidad de trabajo para ofrecer la información estadística adecuada sobre el medio ambiente.

#### 4.3.3. *La valoración monetaria de la brecha*

Como paso final, Neumayer (1999) plantea que se puede valorar monetariamente la brecha de la sostenibilidad estimando los costos que deben ser necesarios para lograr los niveles de sostenibilidad. Primero, se requiere establecer las medidas necesarias para lograr los niveles sostenibles. Esas medidas pueden darse vía reducción del producto de ciertos bienes y servicios cuya producción causa deterioro ambiental, o mediante la sustitución de insumos y reducción de la contaminación en los procesos de producción, o finalmente en forma de restauración directa y preservación. A continuación, han de ser establecidas las curvas de costos para la implementación de cada una de las medidas. Luego, todas las medidas son ordenadas con respecto a su costo marginal a fin de obtener una curva de costos totales para el logro de los niveles de la sostenibilidad. Hipotéticamente, la medida con menor costo es iniciada primero, luego la medida con el siguiente costo más alto, y así sucesivamente. En la medida que pueda haber obstáculos prácticos para seguir esta secuencia de medidas de costo mínimo, el estimado de la brecha de la sostenibilidad va ha ser demasiado bajo.

## 5. EL MODELO COMMON-PERRINGS: UN ENFOQUE INTEGRADOR PARA LA BÚSQUEDA DE LA SOSTENIBILIDAD

Este modelo tiene la característica de que trata de combinar los conceptos ecológicos de estabilidad con la eficiencia económica (Common y Perrings, 1992). Para la economía ecológica, la estabilidad ecológica es un prerrequisito para la sostenibilidad del sistema económico-ecológico como un todo. Tal estabilidad a su vez requiere la resiliencia de los ecosistemas, definida como la propensión de los ecosistemas a mantener sus principales rasgos después de alguna alteración. La protección de la sostenibilidad ecológica es lograda a través del mantenimiento de la resiliencia de los ecosistemas. Ahora, el concepto de sostenibilidad económica usado está representado por la regla de Hartwick. Common y Perrings (1992, p. 8) plantean que "Mientras no sea

necesario sacrificar... la eficiencia intertemporal... la eficiencia intertemporal de precios no es una condición necesaria para la sostenibilidad ecológica...y la eficiencia intertemporal puede bien ser inconsistente con la sostenibilidad ecológica".

La sostenibilidad ecológica se caracteriza formalmente utilizando el enfoque de Holling (1973), donde la resiliencia de un ecosistema es una función creciente de la diversidad de ese sistema. La resiliencia de Holling está caracterizada en el modelo de Perrings y Common por la condición de que la tasa de cambio de los parámetros naturales del ecosistema, , con respecto a la actividad económica no sea positiva. Esos parámetros naturales incluyen, por ejemplo, la tasa de producción primaria neta en el sistema y las tasas de crecimiento de la población. Las retroalimentaciones dinámicas entre los ecosistemas y la economía representan el problema de control ambiental que se quiere lograr solucionar con el desarrollo sostenible. Common y Perrings (1992) afirman que el principal rasgo distintivo de su modelo es la incorporación de dos restricciones que son suficientes para la sostenibilidad ecológica y económica. Esas restricciones son endógenas, en el sentido que ellas son interdependientes dinámicamente, reflejando la coevolución del sistema global (Hanley et al, 1997). Debe anotarse que la función objetivo en el modelo Perrings-Common depende de una función de bienestar ponderada por un factor de descuento.

## 5. 1. El modelo

Sea  $X_t$  ( $X = 1, \dots, n$ ) los recursos disponibles para el sistema económico en el tiempo  $t$ . Estos recursos incluyen capital natural, capital manufacturado y bienes de consumo.  $U_t$  es un subconjunto de esos recursos que están bajo derechos de propiedad privada y son económicamente explotables. La distribución de los parámetros de los ecosistemas que mantienen el ambiente natural está representados por  $Z_t$ , definida a partir de una función de densidad de probabilidades  $z_t = pr(Z_t)$ . En cualquier punto del tiempo, los parámetros del sistema  $z_t$  son una función  $h$  de la cantidad de perturbación del ecosistema, indicada por  $\hat{X}_t$ . Esta perturbación se asume igual para el nivel de los recursos económicos,  $U_t$ . Los valores no perturbados de  $X_t$  son representados como  $X_t$ . Ahora,

si se define  $z_t = h(\hat{X}_t, \bar{X}_t)$  entonces la ecuación de movimiento para el ecosistema será:

$$(1) \quad \frac{\delta X_t}{\delta t} \equiv \dot{x} = f(\bar{X}_t, U_t, z_t, t)$$

Así, el crecimiento en los recursos depende del crecimiento natural,  $X_t$ , y del uso económico de los recursos,  $U_t$ . Este uso depende de los precios relativos  $P_t$ , de modo que  $U_t = U(P_t, t)$ . Ahora, la función objetivo en este modelo se plantea en la ecuación (2).

$$(2) \quad J = W(T)[X_T, z_T, T]e^{-rT} + \int_0^T Y_t[\bar{X}_t, U_t, z_t, t]e^{-rt} dt$$

Esta es una expresión neoclásica convencional, la cual muestra que en el periodo de tiempo que finaliza en  $T$ , se adicionan los beneficios económicos  $Y$ , descontados a la tasa  $r$ —los cuales dependen del consumo contenido en  $U_t$ , del estado natural del ecosistema y de los parámetros del sistema ( $z_t$ ) en cualquier punto en el tiempo— más un término que expresa el bienestar ( $W$ ) en el periodo final  $T(W(T))$ —el cual depende del nivel de los recursos que se mantienen ( $X_t$ ) así como del sistema de parámetros del ecosistema— descontado también a la tasa  $r$ <sup>7</sup>. Las restricciones sobre este problema de optimización están dadas en la ecuación (1). Ahora, el nivel inicial de stock de recursos y precios es:

$$X(0) = X_0 \text{ y } P(0) = P_0 \quad (3)$$

Además, hay una restricción de sostenibilidad ecológica. Esta restricción requiere que el proceso económico no tenga un efecto desestabilizador sobre el ecosistema. La anterior restricción se representa como:

$$\frac{\delta z}{\delta t} = \dot{z} \leq 0 \quad (4)$$

Dado que  $W$  y  $Y$  están en función de  $z_t$ , entonces sólo serán estables si  $\dot{z} = 0$ . Esto a su vez implica tener una estructura constante de preferencias, para lo cual la sostenibilidad de Holling es condición necesaria y suficiente. De esta manera, la condición establecida en la ecuación (4) puede ser expresada como una igualdad estricta:  $\dot{z} = 0$  (5)

Common y Perrings (1992) plantean que esta condición es suficiente para la sostenibilidad del ecosistema –lo que ellos denominan la *resiliencia de Holling*–. Ahora, esta condición será garantizada por  $\dot{U} = 0$  (stock de capital y consumo constantes en el tiempo, a una tasa de crecimiento económico igual a cero). Finalmente, Common y Perrings (1992) imponen una restricción de eficiencia intertemporal. Esta restricción es, en esencia, la regla de Hartwick en la cual se requieren que las rentas de recursos sean iguales a la inversión neta, igualadas ambas a sus valores sociales.

## 5.2. Resultados generales del modelo Common-Perrings

A continuación se presentarán los principales resultados de este modelo. En primer lugar, a lo largo de una senda sostenible óptima, los beneficios marginales por una reducción en el valor de la base de recursos ( $X$ ) deben crecer a una tasa que debe ser igual a la tasa de descuento. Lo anterior, es el resultado de la regla de Hotelling. Segundo, la sostenibilidad ecológica reduce la deseabilidad del crecimiento económico, en el sentido de que a lo largo de una senda sostenible óptima cualquier efecto no deseado sobre la resiliencia de los ecosistemas debe ser deducido de los beneficios económicos. Tercero, una senda de precios intertemporalmente eficiente no es necesaria o suficiente para la sostenibilidad ecológica. Sin embargo, en algunos casos dicha senda puede ser compatible con la sostenibilidad. Cuarto, derivado de lo anterior se sigue que preservar o lograr la estabilidad ecológica que es consistente con la eficiencia intertemporal requiere que la sociedad gestione las interacciones económico-ambientales en una forma que no interfiera con la resiliencia del sistema, lo cual mantiene a los sistemas dentro de sus límites de resiliencia naturales. De otro lado, un desarrollo económico intertemporalmente eficiente no será sostenible ecológicamente si la resiliencia del sistema ambiental es afectada de forma negativa.

Por último, mientras que la noción de sostenibilidad débil permite un indicador de sostenibilidad el cual está basado en valores monetarios –por ejemplo el Producto Nacional Bruto (PNB) corregido por consideraciones ambientales–, la sostenibilidad de

Holling requiere un conjunto de indicadores físicos que midan la resiliencia de los ecosistemas. Ahora, ya que la resiliencia es una función creciente de la diversidad, la preservación de la biodiversidad es vital para la sostenibilidad ecológica.

## CONCLUSIONES

Desde la perspectiva ecológica los conceptos de resiliencia y estabilidad son de gran importancia. La estabilidad se refiere a la capacidad de las poblaciones para retornar al equilibrio después que ha ocurrido alguna perturbación o alteración de los ecosistemas, mientras que la resiliencia es un concepto más amplio que mide la propensión de los ecosistemas a mantener sus principales rasgos después de alguna alteración. Para Holling (1973) la resiliencia del sistema está relacionada a la diversidad sistémica, a la complejidad y a la interconexidad, sugiriendo que los impactos humanos que reducen esas propiedades deben ser evitadas. Una implicación para la gestión de recursos, desde la perspectiva de la economía ecológica, es que no es el capital manufacturado el que debe ser mantenido, sino que ambos capitales deben ser mantenidos de forma independiente.

Ahora, los ecologistas utilizan los términos de sustituibilidad y reversibilidad para referirse a las propiedades físicas de los ecosistemas. Para ellos, la reversibilidad de una condición está relacionada a la resiliencia de un ecosistema; a su capacidad de retornar a un alto nivel de función ecológica después de ser alterado. Por su parte, la sustituibilidad es una forma de reemplazo: si alguna cualidad del sistema es disminuida, ¿existen otras fuentes de esa cualidad? Así, el tema de la sustituibilidad asume particular importancia cuando la degradación del medio ambiente es de alguna manera grande en escala.

De otro lado, deben hacerse algunas aclaraciones entorno a las propuestas de la medición de la sostenibilidad a partir de las perspectivas económicas y ecológicas. En primer lugar, en el modelo de Hartwick se mantiene el valor de riqueza nacional total (natural y reproducible) constante cuando en la valoración son usados los precios sombra adecuados. Sin embargo, Toman *et al*

(1995) argumentan que el agotamiento óptimo puede ser demasiado rápido para la sostenibilidad, causando que el precio y la renta del recurso sean muy bajos con respecto a los niveles sostenibles. En este caso, aún la inversión de la renta total del recurso no asegurará la suficiente formación de capital para la sostenibilidad. En lugar de esto, la renta del recurso deberá ser medida usando los precios sombra que reflejan la restricción de sostenibilidad. Estimar esos precios es difícil y complejo, además está sujeto a una gran incertidumbre. Así, la regla de Hartwick es una condición necesaria pero no suficiente para mantener constante el consumo. Por último, la utilización del descuento convencional, en dicho modelo, causa problemas de tipo intergeneracional en la medida que la tasa de descuento definida de forma exponencial actúa en detrimento de las generaciones futuras, ya que en el enfoque convencional del descuento dicha tasa es constante y positiva, lo que significa que los individuos establecen mayor valor al consumo presente que al consumo futuro.

De otro lado, en la medición de la brecha sostenible también se presentan algunos problemas. Primero, cuando se establecen las curvas de costos para lograr los niveles de sostenibilidad se está realizando un análisis parcial. Así, los costos de la implementación de cada medida son estimados bajo un supuesto de *Ceteris paribus*, y este supuesto puede resultar ficticio en la medida que todos los sistemas y procesos –económicos y ecológicos– son dinámicos. En segundo lugar, no es claro cuál es el marco de tiempo apropiado para lograr ciertos niveles de sostenibilidad. Esto es particularmente cierto con respecto a los niveles de los recursos no renovables. Simons y Ekins (1998) plantean que el nivel de sostenibilidad para un recurso no renovable debe ser aquél en el cual el uso de dicho recurso no deba disminuir su función ecológica. Sin embargo, no es claro si el mantenimiento de dicha función deba ser lograda instantáneamente o en un periodo largo de tiempo. En tercer lugar, no es claro si el valor estimado para la brecha de sostenibilidad debe ser sustraído del Producto Nacional Neto o no.

Así, por todo lo anterior, el valor estimado de la brecha de sostenibilidad tiene que ser tratado con precaución en la interpretación. Sin un conocimiento simultáneo de las dimensiones físicas de la brecha de sostenibilidad pueden ocurrir interpretacio-

nes equivocadas. Un alto valor de la brecha puede significar que la economía real está lejos de las normas de la sostenibilidad o que la economía está cerca de satisfacer las normas, pero hacerlo sería muy costoso. Ahora, un valor constante o decreciente de la brecha de la sostenibilidad no dice nada del estado del medio ambiente ya que éste puede ser la consecuencia ya sea de que la economía se está moviendo cerca a la brecha de la sostenibilidad o la consecuencia de una disminución de los costos debido, por ejemplo, al progreso técnico. De hecho, es posible tener un valor decreciente para la brecha de la sostenibilidad en el tiempo, mientras al mismo tiempo la economía se aleja cada vez más de los niveles de sostenibilidad.

Finalmente, debe decirse, con respecto al modelo Comon-Perrings, que el concepto de sostenibilidad ecológica está posiblemente en desacuerdo con la vieja creencia de la soberanía del consumidor. Si los individuos mantienen preferencias que implican sendas de consumo no sostenible, el gobierno tendrá que invalidar esas preferencias si desea lograr la sostenibilidad. Ahora, como no existen mercados para muchos bienes ambientales, la creciente escasez ambiental no puede ser asimilada por los precios relativos crecientes, de modo que incluso un conjunto dado de preferencias de consumidores no puede alterar su comportamiento en la dirección sostenible. Así, el mensaje de este modelo es que aún si todos los recursos ambientales fueran correctamente valorados, esto no garantiza la sostenibilidad. Por tanto, se puede concluir que un enfoque ecológico-económico para la sostenibilidad requiere que los recursos sean asignados de una forma tal que ellos no amenacen la estabilidad ni del sistema como un todo ni de los componentes del sistema. Un enfoque económico-ecológico debe privilegiar los requerimientos del sistema por encima de los requerimientos individuales. La soberanía del consumidor, en este enfoque, es un principio aceptable sólo en la medida que el interés –preferencias– del consumidor no amenace el sistema ambiental general y, con esto, el bienestar de las generaciones futuras.

## BIBLIOGRAFÍA

- Arrow, K, et al, (1995), "Economic growth, carrying capacity and the environment", *Ecological Economics*, Vol. 15, pp. 91-95.
- Barbier, E., Marcandy, A., (1990), "The condition for achieving environmentally sustainable development", *European Economic Review*, No. 34, pp. 659-669.
- Common, M., Perrings, C., (1992), "Towards an ecological economics of sustainability", *Ecological Economics*, Vol. 6, Issue 1, pp. 7-34.
- Correa Restrepo, Francisco Javier, (2003a), "Propuestas para la determinación de la tasa social de descuento: una revisión analítica", *Revista Semestre Económico*, No. 11, enero-junio, pp. 103-123.
- Correa Restrepo, Francisco Javier, (2003b), "Economía del desarrollo sostenible: propuestas y limitaciones de la teoría neoclásica", *Revista Semestre Económico*, No. 12, julio-diciembre, pp. 167-194.
- Daly, H., Cobb, J., (1994), *For the common good*, second edition, Boston, Beacon Press.
- El Serafy, Salah, (1981), "Absorptive capacity, the demand for revenue and supply of petroleum", *Journal of Energy and Development*, No. 7, Autumn, Appendix A.
- Hanley, Nick, Shogren , J., White, B., (1997), *Environmental Economics: in theory and practice*, Great Britain, Oxford University Press, cap.14, pp. 434-449.
- Hartwick, John, (1977), "Intergenerational Equity and the Investing of Rents from Exhaustible Resources", *American Economic Review*, Vol. 67, No. 5, pp. 972-974.
- Holling, C. S., (1973), "Resilience and Stability of Ecological Systems", *Annual Review of Ecology and Systematics*, No. 4, pp. 1-23.
- Hueting, R., Reijnders, (1998), "Sustainability is an objective Concept", *Ecological Economics*, Vol. 27, Issue 2, pp. 139-147.
- Neumayer, Eric, (1999), *Weak versus Strong Sustainability: exploring the limits of two opposing paradigms*, Great Britain, Edward Elgar Publishing Inc., 294 pp.
- Norton, B., Toman, M., (1997), "Sustainability: Ecological and economic perspectives", *Land Economics*, Vol. 73, No. 4, pp. 553-568.
- Simon, J., (1996), *The Ultimate resource 2*, Princeton, New York, University Press.
- Simon, S., Ekins, P., (1998), "Achieving Environmental Sustainability: Theoretical Framework", for the Fifth Biennial Meeting of the International

Society of Ecological Economics, Santiago de Chile, 15-19 November, Keele University; Department of Environmental Social Sciences.

Solow, Robert, (1974), "Intergenerational Equity and Exhaustible Resources", *Review of Economic Studies*, No. 41, Symposium, pp. 29-45.

Toman, , M, Pezzy, J., Krautkraemer, J., (1995), "Neoclassical Economic Growth Theory and Sustainability", en: *Handbook of Environmental Economics*, editado por D. W. Bromley, Oxford: Blackwell.

Van Kooten P., Bulte, J., (2000), *The Economics of Nature: managing biological assets*, Great Britain, Blackwell Publishers, 550 pp.

## NOTAS

1. Quizás las generaciones actuales colocan demasiado énfasis en el consumo presente en detrimento de la inversión.
2. En el caso de recursos como el petróleo, esto puede ser verdad si las economías llegan a confiar más en el transporte público y si se aumenta la demanda por vehículos más eficientes en la utilización de combustible.
3. En particular, a los cambios permanentes en los estados físicos se les debe asignar un costo de oportunidad que refleje la pérdida de servicios ambientales actuales y futuros.
4. Bajo este tipo de perspectiva la implicación es que la tasa social de descuento debe ser cero.
5. Hartwick argumenta que dicha renta no debe ser consumida por las generaciones actuales para poder lograr niveles de consumo sostenibles.
6. Debido a que la regla de Hotelling es definida diferencias más que en niveles absolutos.
7. Common y Perrings (1992) asumen la tasa de descuento igual a la eficiencia marginal del capital.

Recibido el 9 de noviembre de 2003. Aprobada su publicación el 3 de febrero de 2004.