

# Una Aproximación a la Cuantificación y Estudio de la Sustentabilidad

## An Approximation to the Quantification and Study Sustainability

**Eugenio Figueroa B.<sup>1</sup>, Enrique Calfucura T.<sup>2</sup>, Roberto Pastén C.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Ph.D. Universidad de Chile, e-mail: efigueroa@econ.uchile.cl, <sup>2</sup>Ph.D(c). Universidad Diego Portales, e-mail: enrique.calfucura@udp.cl, <sup>3</sup>Ph.D. Universidad de Talca, e-mail: rpasten@utalca.cl

**Resumen.** El concepto de sustentabilidad o de desarrollo sustentable se ha convertido en un paradigma dentro del campo del crecimiento y desarrollo económico en las últimas décadas. En el presente artículo se revisan las bases conceptuales económicas de la sustentabilidad y se analizan los desafíos metodológicos para su aplicación práctica como indicador económico.

**Palabras clave:** Desarrollo sustentable, crecimiento económico, contabilidad ambiental.

**Abstract.** The concept of sustainability or sustainable development has become in a paradigm within the field of economic growth and development in the last few decades. In the present article the economic conceptual framework of sustainability and the methodological challenges for its practical implementation as an economic indicator are analyzed.

**Keywords:** Sustainable development, economic growth, environmental accounting.

## INTRODUCCIÓN

El aumento de los impactos y las repercusiones nacionales y globales de las actividades económicas sobre el medio ambiente impone la necesidad de analizar los problemas ambientales y económicos dentro de un marco común. Por lo tanto, al analizar la asignación de recursos para maximizar el bienestar social es necesario sustituir el enfoque de corto plazo para determinar la explotación de los recursos por uno de más a largo plazo y que incluya la preservación del medio ambiente con miras a la satisfacción de las necesidades humanas y naturales. Por otro lado, la relación entre economía y medio ambiente no debe circunscribirse sólo a la utilización sostenible del medio natural para fines humanos, sino que debe también incluir una perspectiva más amplia que considere los equilibrios naturales que aseguren la preservación a las futuras generaciones (Arrow et al. 1995).

El actual sistema de cuentas nacionales ha sido criticado debido a sus insuficiencias, ya que ignora tanto la pérdida de recursos naturales como la degradación ambiental causada por la actividad económica. Además de no considerar una serie de actividades tales como el trabajo doméstico, la redistribución de la renta, la valoración del ocio, el capital humano y, particularmente importante para este estudio, la cuantificación de los servicios y funciones del medio ambiente. A diferencia de lo que ocurre con el capital construido por el hombre, como fábricas y maquinaria, la depreciación en el caso de los recursos naturales no es considerada en el sistema tradicional de contabilidad nacional y, por lo tanto, esta provee una medida inadecuada de la sustentabilidad del proceso de desarrollo de un país. Aquí se presenta un marco conceptual que permite analizar el concepto de sustentabilidad, y dar luces acerca de cuáles indicadores deben ser construidos como una forma de operacionalizarlos.

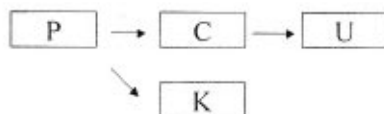
Para evaluar la sustentabilidad del crecimiento es importante contar con estimaciones lo más exactas posibles del 'verdadero' ingreso económico de un país, ya que en términos teóricos ellas son las mejores medidas de bienestar que pueden obtenerse (Weitzman 1976). Para tener mediciones más exactas del ingreso nacional generado cada año, se requiere incorporar a las medidas de las cuentas nacionales tradicionales la depreciación de los activos que ellas consideran.

La estructura del documento es la siguiente. En la siguiente sección se realiza una breve revisión de la relación entre sustentabilidad y crecimiento económico. Después se presenta diferentes modelos de determinación del ingreso económico sustentable según los componentes ambientales que sean de interés. Estos proveen una aproximación simple a la corrección del PIB por la pérdida neta de capital natural de la economía. La sección siguiente analiza los enfoques teóricos de valorización de la depreciación de los recursos naturales, y después se discute el problema de cómo implementar el concepto de sustentabilidad. En la última sección se analiza el debate existente respecto al uso del concepto de sustentabilidad desde la perspectiva económica de los modelos de crecimiento y ahorro-inversión.

## SUSTENTABILIDAD Y CRECIMIENTO ECONOMICO

Para entender la relación entre crecimiento económico y sustentabilidad es preciso partir desde la base conceptual que relaciona el sistema económico de producción y consumo con el medio ambiente que lo rodea. Para ello, aquí se emplea el modelo de balance de flujos y materiales como lo exponen Pearce y Turner (1994). El tradicional modelo de flujos y servicios en una economía cerrada aparece como un sistema lineal donde confluyen empresas e individuos.

Figura 1. Modelo de flujos y servicios



En la **Figura 1**, la economía produce bienes y servicios (P), los cuales pueden ser consumidos (C) o utilizados para producir bienes de capital (K). El consumo de bienes genera utilidad para las personas (U). En esta concepción elemental y simple del sistema económico se encuentra implícito el supuesto de que la producción y el consumo no generan externalidades negativas para los individuos, que el

medio ambiente no cuenta para generar utilidad para las personas, y que la disponibilidad de materias primas necesarias para el proceso de producción es infinita, o sea, los recursos naturales son un bien libre.

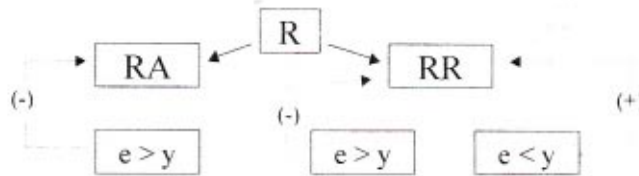
No obstante, el medio ambiente provee de una serie de funciones sobre la economía que son necesarias de considerar, ya que afectan los beneficios y

costos de los agentes económicos. Estas funciones corresponden a la provisión de materias primas, servir de depósito de desechos del sistema de producción y consumo, y proveer utilidad a las personas.

- El medio ambiente como proveedor de ma-

terias primas. En la **Figura 2**, R son los recursos totales, que se dividen en recursos agotables (o no renovables), RA, y en recursos renovables, RR; 'e' es la tasa de extracción del recurso, e 'y' es el crecimiento del mismo.

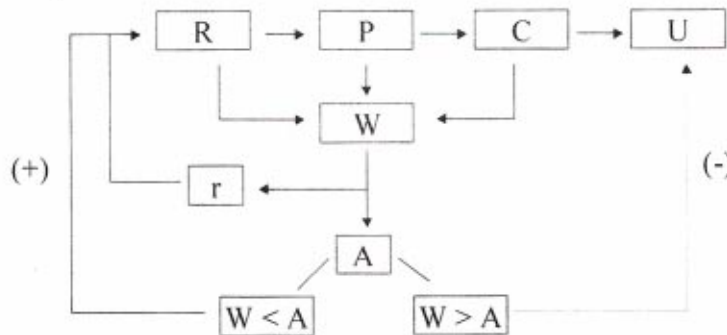
**Figura 2.** El medio ambiente y la provisión de materias primas



- El medio ambiente sirve como depósito de los desechos del sistema de producción y consumo así como de los desechos de los propios recursos

naturales. En la **Figura 3** se tiene que W = desechos, r = tasa natural de reciclaje, y A = es la capacidad de asimilación de desechos.

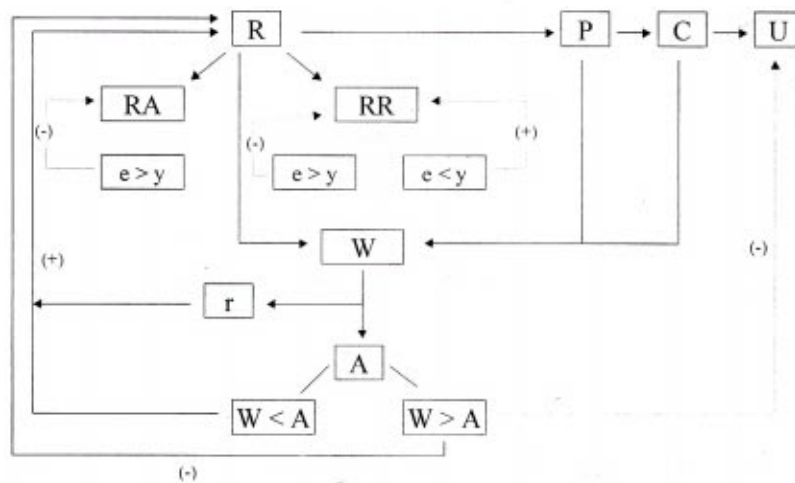
**Figura 3.** El medio ambiente como depósito de desechos



- El medio ambiente provee utilidad a las personas directamente a través de sus llamadas 'amenidades' ambientales (desde R a U). El flujo de

la economía, introduciendo las funciones ambientales se presenta en la **Figura 4**.

**Figura 4.** El flujo de la economía incluyendo funciones ambientales



De este modo, si se reconoce que el medio ambiente y el sistema económico están estrechamente relacionados, se hace necesario determinar las condiciones que aseguren la sustentabilidad de la explotación de los recursos naturales y el medio ambiente.

(a) En la literatura se encuentra dos propuestas sobre cómo asegurar y mantener la capacidad del medio ambiente para sustentar el sistema económico. La primera es la llamada regla de Sustentabilidad Fuerte (SF), que establece que es necesario que se cumplan las siguientes condiciones:  $e < y$

(b)  $W < A$

Esto significa que no es posible explotar los recursos y el medio ambiente más allá de su tasa de regeneración.

La segunda es la llamada regla de Sustentabilidad Débil (SD), basada en los conceptos de sustituibilidad y eficiencia, y que define algunas condiciones a cumplir. Por un lado, el *stock* de recursos renovables (RR) no debe declinar en el tiempo. Por otro lado, como los recursos no renovables (RA) serán agotados algún día, es necesario incorporarlos a la regla, lo que podría lograrse de dos maneras: (i) Asegurando que la disminución del *stock* de los recursos no renovables sea compensada a través de un incremento del *stock* de recursos renovables, o (ii) Asegurando alcanzar un determinado estándar de calidad de vida a partir de menores *stocks* de recursos.

Una importante extensión de los modelos de crecimiento económico desarrollados a partir de la década de los 1970s consistió en la incorporación de los recursos no renovables como un factor de producción en las funciones de producción neoclásicas (Dasgupta y Heal, 1974; Hartwick, 1977; Solow, 1974). El objetivo de estos modelos era determinar si, aún dado el carácter no renovable de estos recursos, era posible, en el largo plazo, generar niveles no decrecientes de bienestar. Solow (1974) demostró que en un modelo de estas características, el consumo necesariamente caería a cero en el largo plazo.

Por lo tanto, se hizo necesario establecer reglas específicas que permitieran aumentar (o al menos no disminuir) el bienestar de las generaciones futuras aún cuando existieran tasas de extracción positivas de los recursos no renovables. En el contexto de una economía cerrada, Hartwick (1977) muestra que para mantener un flujo constante de consumo per-cápita, la sociedad debe reinvertir todas las rentas corrientes obtenidas de la utilización del *stock* del recurso agotable. En términos de la definición de SD dada más arriba, la regla de Hartwick requiere que la inversión neta de capital sea positiva, o en otras palabras, que la tasa de cambio del capital no sea nega-

tiva (Hamilton, 1994a, 1994b). La inversión neta de capital considera inversión bruta en todas las formas de capital, menos la depreciación o el consumo de todas dichas formas de capital.

Por su parte, Solow (1986) muestra que las condiciones establecidas por Hartwick (1977) implican que existe sustentabilidad cuando el *stock* de capital total se mantiene constante; condición que es suficiente para que la economía permanezca sobre una senda de máximo consumo sostenible en el tiempo, y que define al capital total para cada momento del tiempo,  $t$ , como:

$$(\text{Capital Total})_t = (\text{Capital Físico})_t + (\text{Capital Humano})_t + (\text{Capital Natural})_t \quad (1)$$

La ecuación (1) resume el concepto de sustentabilidad débil, i.e, mantener constante el *stock* de capital total (asumiendo que la población se mantiene constante).

En este tipo de modelos tanto los recursos naturales como los recursos producidos entran como insumos de una función de producción Cobb-Douglas, la cual se caracteriza por poseer una elasticidad de sustitución unitaria entre factores de producción. Esto supone implícitamente que el capital natural es similar al capital producido y que ambos pueden ser fácilmente sustituidos uno por el otro. Por lo tanto, salvo en el caso de una sociedad con recursos naturales superabundantes, el paradigma de SD será válido sólo cuando la elasticidad de sustitución entre capital natural y los factores de producción convencionales sea mayor que cero.

Desde el punto de vista económico, los primeros modelos de ahorro-inversión en los que se introducía el medio ambiente sentaron las bases teóricas para el análisis de sendas sustentables de crecimiento. Weitzman (1976) estudió la determinación del Producto Nacional Neto (PNN), y su significancia en términos de bienestar para la sociedad, tratando de responder a la crítica de Samuelson (1961) de que el PNN de las cuentas nacionales no es un indicador apropiado de bienestar ya que, además del consumo, incluye la inversión. Para ello, Weitzman planteó un modelo que asume un único bien compuesto que se produce y consume, y se expresa como un número índice con los precios como ponderadores, como una canasta de bienes o sencillamente como una función de utilidad cardinal. Así, el nivel de consumo es representado como un número  $C(t)$  para cada período  $t$ . Por otro lado, Weitzman especifica una concepción de capital más amplia a la utilizada en los modelos tradicionales de crecimiento, que incluye no sólo las maquinarias y estructuras, sino que también las

existencias de recursos naturales (el capital humano también debiera ser incluido, si es posible medirlo; del mismo modo, los activos ambientales como el aire, el agua y el medio ambiente generalmente son considerados como una forma de capital -para una revisión de estos tópicos ver Måler, 1991). Finalmente, el modelo asume cero progreso técnico, población

en estado estacionario y tasa de interés constante.

Weitzman concluye que si toda la inversión puede ser convertida en consumo a través de los precios de transformación existentes, la senda del PNN coincide con el máximo nivel de consumo que puede ser sostenido indefinidamente, lo cual implica que:

$$Y^*(t) = r \int_0^{\infty} C^*(s) e^{-r(s-t)} ds = C^*(t) + p(t) \frac{dk^*}{dt}(t) \quad (2)$$

La ecuación (2) implica por que el Producto Nacional Neto (PNN) de las cuentas nacionales, el último término de la derecha de la ecuación, puede ser considerado como un indicador apropiado de bienestar, ya que representa el valor presente de la corriente de consumo óptimo futuro (el término del medio de la ecuación). Además, corresponde al máximo consumo sustentable a través de la senda competitiva óptima, y que satisface la definición de ingreso económico de Hicks (1946). Weitzman explica que el PNN representa ingreso económico en el sentido del consumo que, si es mantenido a un nivel contante, rendiría el mismo valor presente del consumo en la senda que maximiza el valor presente del bienestar.

La metodología reseñada ha sido criticada por dos razones. Primero, porque el ingreso medido a la Weitzman-Hartwick no representa, al menos en teoría, una medida del ingreso sustentable, cuando este último es definido como el consumo posible de realizar en el período presente sin reducir las posibilidades de consumo futuro. Segundo, el análisis de Weitzman es para una economía cerrada donde las ganancias y pérdidas de capital producto de cambios exógenos en los precios no son consideradas. Bajo ciertas circunstancias la senda que maximiza el valor

presente del consumo puede implicar niveles de utilidad decrecientes en algunos períodos de tiempo en el futuro (ver Dasguta y Heal, 1974). Asheim (1994, 1997) muestra que ambas medidas de ingreso no son iguales. Si la senda máxima de valor presente es única y no-constante, entonces la aproximación dada por Weitzman no corresponde a un concepto de ingreso sustentable.

Asheim (1997) señala que incorporar progreso tecnológico exógeno permite que el PNN incluya las ganancias de capital generadas por los cambios tecnológicos, de los que se generan las oportunidades de comercio derivadas de las variaciones en los términos de intercambio (las cuestiones de cero progreso técnico y crecimiento de la población son abordadas por Weitzman, 1997 y Asheim, 1997; en el primer trabajo, Weitzman relaja el supuesto de cero progreso técnico y crecimiento poblacional para determinar una nueva medida de bienestar denominada "Ingreso Sustentable Futuro", la cual permite incorporar un premio por progreso técnico al PNN corriente). Asheim (1997) demuestra que usando una tecnología con retornos constantes a escala es posible obtener que:

$$Y^*(t) = C^*(t) + p(t) \frac{dk^*}{dt}(t) + \dot{p}(t) k^* + \frac{\dot{r}_{\infty}(t)}{r_{\infty}(t)} p(t) \frac{dk^*}{dt}(t) \quad (3)$$

Igual que en la ecuación (2), los primeros dos términos del lado derecho de la ecuación (3) constituyen el denominado PNN tradicional; el que ahora es ajustado por las ganancias anticipadas de capital (tercer término del lado derecho) y la variación del valor presente de un flujo constante de ganancias futuras producto de los cambios en la tasa de interés de largo plazo (último término del lado derecho). De acuerdo con Asheim (1997), esto permite demostrar que sin progreso tecnológico exógeno y si la tasa de interés de largo plazo no cambia, no existen ganancias de capital en el cálculo del PNN. No obstante, la ex-

presión en (3) para el PNN plantea una serie de problemas prácticos, y no necesariamente implica que exista una subestimación de la verdadera sustentabilidad de los países con mayor dotación relativa de recursos. Por un lado, el tercer término del lado derecho representa las ganancias de capital asociadas a las existencias no explotadas de recursos naturales, las cuales no necesariamente son positivas, ya que como muestra la evidencia empírica para muchos recursos naturales, sus precios reales presentan una caída secular en los últimos diez años (Cairns y Davis, 1997). Por otro lado, el cuarto térmi-

no del lado derecho plantea una interrogante práctica respecto a qué tasa de interés se puede utilizar para reflejar las condiciones de largo plazo, especialmente en economías en desarrollo donde los continuos *shocks* especulativos generan variaciones sustanciales en las tasas de interés. Finalmente, se presenta el problema de definir conceptualmente a qué corresponde el valor físico del capital natural y del capital artificial. Para el caso del capital natural, porque este podría considerarse como las reservas económicamente explotables, ó como el total de las reservas conocidas o posibles, lo que involucraría un problema de incertidumbre (Vincent, 1996). En el caso del capital artificial y humano, existen problemas evidentes de cuantificar su *stock* en unidades físicas, lo que ha dado origen a una serie de controversias teóricas en el pasado.

### MODELOS DE INGRESO ECONÓMICO SUSTENTABLE

A partir de los trabajos de Hartwick (1990) y Hamilton (1994a; 1994b), numerosas aproximaciones han sido realizadas a la modelación económica del Producto Nacional Neto (PNN) tomando en cuenta la diversidad de formas de interacción entre los recursos naturales y el medio ambiente. El propósito final es estimar el verdadero ingreso económico de una

economía, considerando la depreciación de las diferentes formas de capital natural.

En Hamilton (1994a, 1994b) se resumen los métodos para incorporar separadamente cada una de las variaciones en capital natural dentro de una economía. Los diferentes modelos utilizan el enfoque de Hartwick (1990), quien demuestra que el Producto Nacional Neto (PNN) es igual al valor corriente del Hamiltoniano resultante de la maximización de la utilidad o bienestar en un modelo de crecimiento óptimo.

#### Modelo 1: recursos naturales vivientes

Este modelo asume un recurso natural comercial que crece, es explotado y utilizado para la producción. Considerando la siguiente notación:

C = consumo  
 K = *stock* de capital  
 F = producción  
 S = *stock* del recurso natural  
 R = tasa de extracción del recurso natural  
 P = precio del recurso  
 f = costo de extracción del recurso  
 $f_R$  = costo marginal de extracción del recurso

g = crecimiento natural del recurso

Las identidades contables básicas son las siguientes.

$$\dot{K} = F - C - f \quad (4)$$

$$\dot{S} = -R + g \quad (5)$$

Donde, las variables con "punto arriba" denotan las tasas de cambio con respecto al tiempo, y las variables con subíndice denotan las correspondientes de-

rivadas parciales. Maximizando el valor presente de la utilidad sujeto a las identidades contables básicas, se obtiene la siguiente expresión para el PNN:

$$PNN = C + \dot{K} - (p - f_R)(R - g) \quad (6)$$

Donde, el término multiplicando a  $(R - g)$  corresponde a la renta neta unitaria del recurso natural, su precio menos el costo marginal de extracción. De esta manera, el PNN corresponde al PIB menos la pérdida neta del recurso natural  $(R - g)$  valorada a la renta neta unitaria  $(p - f_R)$ .

#### Modelo 2: recursos no-renovables con descubrimientos

Se asume un recurso no-renovable cuya función de costos de descubrimiento se relaciona a los descubrimientos acumulados, más que al *stock* remanente. Definiendo:

D = recursos descubiertos  
 v = costo total de descubrimientos  
 $v_D$  = costo marginal de descubrimiento

El nuevo problema económico busca maximizar el valor presente de la utilidad sujeto a las siguientes restricciones contables:

$$\dot{S} = -R + D \tag{7}$$

$$\dot{K} = F - C - f - v \tag{8}$$

Esta formulación permite obtener la siguiente expresión para el PNN:

$$PNN = C + \dot{K} - (p - f_R)R + v_D D \tag{9}$$

EL PNN se convierte en el PNN tradicional menos el valor corriente de la renta del recurso, más los descubrimientos valorados a costo marginal de descubrimiento. El último término, generalmente es medido en las cuentas nacionales como parte de la inversión minera (gastos de exploración).

**Modelo 3: servicios ambientales**

En este caso, la cuestión esencial es el tratamiento del flujo de servicios ambientales que provee utilidad directa a los consumidores y además, es utilizado como insumo en el proceso de producción. Estos servicios son reducidos por la contaminación y son incrementados por los procesos naturales de regeneración. Las emisiones de contaminantes se encuentran relacionadas a los niveles de producción y se

ven reducidas por los gastos de abatimiento. De esta manera, las nuevas variables utilizadas corresponden a:

- B= flujo de servicios ambientales
- b= costo marginal de abatimiento de las emisiones
- e= emisiones contaminantes (relacionadas a la producción)
- a= gastos de abatimiento
- $p_B$ = precio de los servicios ambientales (disposición a pagar)

Los servicios ambientales (B) pueden ser concebidos como un flujo de servicios provistos por algún tipo de recurso natural no transado en el mercado, como por ejemplo aire limpio. El cambio en los servicios ambientales es gobernado por la siguiente ecuación:

$$\dot{B} = -\alpha e + m(B_0 - B) \tag{10}$$

De esta manera, el nivel de servicios ambientales decrece con las emisiones a una tasa  $\alpha$  y se incrementa a una tasa "m", proporcional a la diferencia entre los niveles actuales de servicios ambientales y aquellos asociados a un estado de calidad ambiental prístino,  $B_0$ . Este modelo analiza servicios am-

biales que están relacionados a un stock implícito de activos ambientales, y este stock es disminuido por la contaminación y regenerado naturalmente.

El modelo maximiza la utilidad sujeto a la ecuación de variación en los servicios ambientales anteriormente descrita y a la identidad contable:

$$\dot{K} = F - C - a \tag{11}$$

La medida de bienestar que resulta, corresponde a:

$$MEB = C + \dot{K} - be + b \frac{m}{\alpha} (B_0 - B) + p_B B = C + \dot{K} + b \frac{\dot{B}}{\alpha} + p_B B \tag{12}$$

En la ecuación (12), el tercer término del lado derecho es la tasa de cambio en los servicios ambientales, medidos en unidades equivalentes de contaminación, la cual es valorada a costo marginal de abatimiento. El último término,  $p_B B$ , representa el valor

del *stock* de servicios ambientales.

MEB se define como 'Medida de Bienestar Económico' y no corresponde conceptualmente a una medida de PNN, dado que el último término antes señalado, el valor del *stock* de servicios ambientales.

Como es bien sabido, el PNN mide bienestar en términos de flujos, por lo cual una medida aproximada del PNN ambiental debería considerar la última ex-

presión sin el valor del *stock* de servicios ambientales, i.e:

$$\text{PNN} = C + \dot{K} + b \frac{\dot{B}}{\alpha} \quad (13)$$

#### Modelo 4: gastos defensivos

El modelo simple, retoma el problema del tratamiento de los servicios ambientales e ignora el uso y extracción de recursos naturales. Se asume que los hogares se benefician de los servicios ambientales solo indirectamente, y que los efectos del deterioro ambiental pueden ser mitigados a través de gastos defensivos. Esto se expresa en el modelo haciendo a la utilidad una función del consumo y de los beneficios ambientales, y a estos beneficios una función del flujo de servicios ambientales y del nivel de gas-

tos defensivos.

La nueva notación corresponde a:

A= beneficios ambientales.

h = gastos defensivos de los hogares.

$d_h$  = costos marginales defensivos, y por lo tanto, el costo de mitigación que un hogar debe incurrir por unidad adicional de deterioro ambiental.

Una simplificación del modelo asume que el medio ambiente no se regenera, con lo que las nuevas ecuaciones de movimiento corresponden a:

$$\dot{B} = -\alpha e \quad (14)$$

$$\dot{K} = F - C - h - a \quad (15)$$

Asumiendo nuevamente que el valor presente de la utilidad es maximizado sujeto a las ecuaciones ante-

riormente señaladas, se obtiene:

$$\text{MEB} = C + \dot{K} - be + d_h A \quad (16)$$

La medida de bienestar en la ecuación (16) está compuesta por el PNN tradicional (consumo + inversión), al que se le resta el valor de las emisiones valoradas a costo marginal de abatimiento (tercer término del lado derecho), y se le suma el nivel de beneficios ambientales valorados a costo defensivo marginal (último término del lado derecho).

#### Modelo general

La integración de los modelos individuales ante-

riormente descritos ha sido realizada por Figueroa y Calfucura (2002 y 2003) quienes se basan en los modelos de Gómez-Lobo (1993) y Hamilton (1994a, 1994b).

Se supone una economía abierta, que posee *stocks* de recursos naturales que se diferencian en renovables y no renovables, y que maximiza el bienestar en un horizonte infinito de tiempo, conforme a:

$$\text{Max} \int_0^{\infty} U(C) e^{-\rho t} dt \quad (17)$$

s.a.:

$$\dot{K} = I - \delta K \quad (18)$$

$$\dot{S} = -R + G \quad (19)$$

$$\dot{Z} = -E + D \quad (20)$$

$$\dot{M} = D \quad (21)$$

$$\dot{A} = X - M + iA = F - C - I - \delta K - f(R, S) - l(E) - g(D, M) + iA \quad (22)$$



Donde,  $A$  es el *stock* de activos externos,  $X$  son las exportaciones,  $M$  son las importaciones,  $i$  es la tasa de interés internacional,  $F(K,R,E)$  es la función de producción de un bien compuesto que depende del *stock* de capital,  $K$ , y la extracción de recursos renovables,  $R$ , y no-renovables,  $E$ . Se asume que el trabajo está fijo y no existe progreso tecnológico.  $C$  es el consumo agregado,  $I$  es la inversión,  $f(R,S)$  es el costo de extracción del recurso renovable y  $l(E)$  es el costo de extracción del recurso no-renovable, sien-

do estas últimas funciones medidas en términos del bien compuesto. Además,  $S$  es el *stock* de recursos renovables y  $Z$  es el *stock* de no-renovables, los cuales crecen a una tasa  $G$  y  $D$ , respectivamente, donde  $G$  es el crecimiento natural del recurso renovable, y  $D$  son los descubrimientos de recursos minerales. Los costos de descubrimientos pueden ser representados como una función  $g(D,M)$ , donde  $g_D > 0$  y  $g_M > 0$ .

El valor corriente del Hamiltoniano del problema viene dado por:

$$H = U(C) + \lambda_1(\dot{K}) + \lambda_2(\dot{S}) + \lambda_3(\dot{Z}) + \lambda_4(\dot{P}) + \lambda_5(\dot{A}) \tag{23}$$

Determinando las condiciones de primer orden, obteniendo los valores óptimos de los precios som-

bras,  $\lambda_i$ , y reemplazando estos últimos en el Hamiltoniano, se obtiene:

$$H = U + U_c \dot{K} - U_c(F_R - f_R)(-R + G) - U_c(F_E - l_E)(-E + D) + U_c(g_D - (F_R - f_R))D + U_c \dot{A} \tag{24}$$

Es necesario definir una función de utilidad, para lo cual se adopta la forma  $U=U_c C$ , no decreciente en el consumo, propuesta por Hartwick (1990). Reemplazando dicha función en (1), y dividiendo luego toda

la expresión por  $U_c$ , se obtiene una expresión monetaria para el valor del Hamiltoniano o PNN según la definición de Weitzman (1976):

$$PNN = C + I + X - M - \delta K + iA - (F_R - f_R)(R - G) - (F_E - l_E)E + g_D D \tag{25}$$

Los seis primeros términos del lado derecho de la ecuación (25) corresponden al PNN tradicional, por lo que el PNN corregido por pérdida de capital natural en el lado izquierdo de (25) le resta al anterior la depreciación neta de recursos renovables valorados a la renta marginal (séptimo término del lado derecho) y la extracción de recursos minerales valorados a renta marginal (octavo término del lado derecho), y le suma el incremento en las reservas de recursos minerales ( $D$ ) valorados a costo marginal de descubrimiento ( $g_D$ ) (último término del lado derecho). Este último valor puede ser concebido como el valor de la inversión incurrida para el descubrimiento de nuevos recursos, conocida también como gastos de exploración. No obstante, en el Sistema de Cuentas Nacionales tradicional, los costos de exploración son parte de la inversión a nivel de la economía nacional, por lo que agregar este componente al PNN redundaría en una doble contabilización. Sin embargo, a nivel sectorial esta situación no es similar, siendo segregados los costos de exploración a otros sectores distintos a los de extracción de recursos no-renovables, por lo que su incorporación en la corrección del PNN sectorial debería ser tomada en cuenta (Calfucura, 1998).

Es posible extender el modelo anterior siguiendo lo sugerido por Hamilton (2000) para incorporar dos dimensiones adicionales del *stock* de capital total de la economía al agregar el capital humano,  $N$ , y otra

parte del capital natural: el flujo de servicios ambientales,  $B$ . Se asume que el bienestar a maximizar es ahora función no sólo del consumo como antes, sino también del flujo de servicios y amenidades ambientales  $B$ , el que está negativamente relacionado con el *stock* de contaminación acumulada,  $W$ , de manera que  $B = \varphi(W)$ , y  $\partial B/\partial W < 0$ .

Se sigue asumiendo una economía abierta que cuenta con un *stock* de recurso natural renovable y un *stock* de recurso natural no renovable, que son utilizados como insumos en la producción de un bien compuesto, el que no sólo es consumido e invertido en capital artificial como en el modelo anterior, sino que, además, ahora es invertido en la creación de capital humano,  $m$ , o gastado para reducir la contaminación,  $a$  (observe que esta variable 'm' de creación de capital humano no es la misma que la variable 'm' en la ecuación 10). Además, se incorpora el capital humano a la función de producción del bien compuesto, y se asume que no se deprecia, por lo que su ecuación de estado es  $\dot{N} = q(m)$ . Además, se asume que las emisiones son una función del producto de la economía  $-F(\cdot)$  y del gasto en abatimiento de la contaminación  $-a$ , es decir,  $e = e(F, a)$ . Además,  $\partial e/\partial F > 0$  y  $\partial e/\partial a < 0$ . Asimismo, existe una cantidad de contaminación que es disipada por los sistemas naturales,  $h$  (observe que esta variable 'h' no es la misma que la variable 'h' en la ecuación 15). Por esto,

la ecuación de estado para el *stock* de contaminación es:  $W = e(F,a)-h(W)$ .

Resolviendo el problema de maximización del bienestar para este modelo extendido, y utilizando

$$PNN = C + I - \delta K + X - M + iA - \beta(R - G) - \theta E - \omega(e - h) + \frac{q}{q_m} \quad (26)$$

Donde  $\beta$  es la renta marginal del recurso renovable,  $\theta$  es la renta marginal del recurso no-renovable,  $\omega$  es el costo social de la contaminación valorado a costo marginal de abatimiento,  $q/q_m$  es el aporte del capital humano valorado a costo marginal. Hamilton (2000) señala que esta última expresión puede ser aproximada como un límite inferior por los gastos en educación ( $m$ ), a falta de mayores antecedentes para obtener su valor real. La incorporación de la contaminación y capital humano, amplía la medida del PNN expresada en la ecuación (2), restando los costos de la contaminación y sumando las inversiones en capital humano. No obstante, es necesario hacer una salvedad a la hora de estimar el PNN corregido según esta ecuación. Según el modelo, no existe gobierno y la inversión en educación es tratada separa-

nuevamente el supuesto de una función de utilidad lineal para dividir el Hamiltoniano a evaluar en cada momento del tiempo, Hamilton (2000) deriva la siguiente expresión para el Producto Nacional Neto:

damente de la inversión en capital físico y el consumo, mientras que en términos contables, el Sistema de Cuentas Nacionales (SCN) trata los gastos en educación como parte del consumo privado y el gasto público, por lo que ya estarían incorporados en las mediciones de PIB y no sería necesaria la adición de los mismos en la estimación del PNN.

Durante las últimas dos décadas, a partir de las mediciones de depreciación de recursos naturales, se ha ido implementado una medida alternativa de sustentabilidad ambiental de una economía: el ahorro neto genuino (ANG). Para definir el ANG, podemos recurrir a la última ecuación presentada y obtener la fórmula propuesta por Pearce y Atkinson (1993) y Hamilton (2000):

$$ANG \equiv PNB - C - \delta K - \beta(R - G) - \theta E - \omega(e - d) + m \quad (27)$$

El ANG corrige el ahorro nacional bruto (los dos primeros términos del lado derecho de la ecuación 27), restándole el consumo de capital físico (tercer término del lado derecho), el valor del crecimiento neto de los recursos renovables (cuarto término del lado derecho), el valor de la extracción de recursos no-renovables (quinto término del lado derecho) y el costo social de la contaminación valorado a costo marginal de abatimiento (sexto término del lado derecho), y sumándole los gastos en educación (último término del lado derecho). En este caso, sí debe considerarse los gastos en educación ( $m$ ), debido a que la medición contable del ahorro nacional resta el consumo y el gasto del Estado, variables donde está contenida " $m$ ". La identidad presenta una fórmula modificada de la Regla de Hartwick como indicador de sustentabilidad, ya que si  $ANG < 0$ , significaría que la inversión neta de la economía, ampliada por las medidas de variación de capital natural y humano, sería decreciente en un período del tiempo y, por lo tanto, la senda de crecimiento sería no sustentable. En este sentido, la ecuación sería equivalente a la diferencia en el tiempo de la ecuación de *stock* de capital, es decir,  $ANG = \text{variación del } stock \text{ de capital total} = d(\text{Capital Total})_t = d(\text{Capital Físico})_t + d(\text{Capital Humano})_t + d(\text{Capital Natural})_t$

## ENFOQUES DE VALORACIÓN DE RECURSOS NATURALES EN LAS CUENTAS AMBIENTALES

Hay dos enfoques que relacionan la renta del recurso con la depreciación del capital natural. El primero, cuando el *stock* de capital natural es asumido fijo, sostiene que la depreciación equivale a la totalidad de la renta del recurso (Hartwick, 1989; Hartwick & Lindsey, 1989) o a una fracción de ella (El Serafy, 1989), como se discutirá más adelante. El segundo, afirma que el *stock* de capital natural no es fijo. Los recursos minerales pueden considerarse como activos renovables de un *stock* fijo, y entonces como otra forma de capital que puede ser creada y consumida. Así, las reservas constituyen un inventario que puede ser compensado mediante inversiones en descubrimientos y desarrollo de *stocks*. La renta del recurso en este sentido, equivale al costo de reemplazar dicho inventario, es decir, a los costos de exploración y/o descubrimiento.

Asumiendo que el capital natural es fijo, las metodologías más usadas para obtener la depreciación en el caso de los recursos naturales son: Valor Presente Neto (VPN), Precio Neto (Repetto, 1989), y Costo de Usuario (El Serafy, 1989).

**Valor Presente Neto (VPN)**

El método del Valor Presente Neto (VPN) consiste en hallar la diferencia del valor de un activo entre el inicio y final del periodo de vida, asumiendo que es

$$V_t = R_t + \left[ \frac{1}{1+r} \right] R_{t+1} + \left[ \frac{1}{1+r} \right]^2 R_{t+2} + \dots + \left[ \frac{1}{1+r} \right]^n R_{t+n} \tag{28}$$

Donde,  $R_t$  es la renta o ingreso del año  $t$ ,  $r$  es la tasa de interés asumida como fija, y  $t+n$  es la fecha en

$$V_{t+1} = R_{t+1} + \left[ \frac{1}{1+r} \right] R_{t+2} + \left[ \frac{1}{1+r} \right]^2 R_{t+3} + \dots + \left[ \frac{1}{1+r} \right]^{n-1} R_{t+n} \tag{29}$$

De esta manera, la depreciación ( $V_t - V_{t+1}$ ) puede

$$V_t - V_{t+1} = R_t - \frac{r}{1+r} V_{t+1} \tag{30}$$

Conceptualmente, este es el método correcto para valorar un activo en general. Sin embargo tiene entre sus inconvenientes, la estimación (predicción) de precios, rentas y tasas de interés futuras, lo cual hace difícil encontrar el valor de la renta del recurso. De esta forma, calcular el VPN tendrá un fuerte componente de incertidumbre.

**Precio Neto (PN)**

Este método fue aplicado inicialmente por Repetto et al. (1989) y está basado en los modelos de explotación óptima de recursos naturales (Hotelling, 1931; Landefeld y Hines, 1982), donde se asume que la renta del recurso es la diferencia entre el precio de

usado óptimamente. Esto se sustenta en el hecho que la depreciación es simplemente la degradación del valor del activo natural. Así,  $V_t$  será igual a las rentas futuras descontadas del activo:

que termina la vida útil del activo. Similarmente, el valor del activo al año siguiente será:

ser escrita matemáticamente así:

mercado y el costo marginal de extracción unitario. Esto es llamado también renta de Hotelling, la cual se define como el retorno neto obtenido de la venta del recurso natural bajo particulares condiciones de equilibrio en el largo plazo. Este retorno comprende los ingresos recibidos menos todos los costos incurridos en la explotación, exploración y desarrollo del recurso, incluyendo un retorno del capital fijo empleado.

Por otro lado, la renta de Hotelling total (RHT) llamada también renta neta total, es definida como la renta Hotelling, o el PN, multiplicado por la cantidad extraída del recurso en un periodo dado:

$$[P(t) - Cmg(E)]E(t) \tag{31}$$

Donde  $P(t)$  es el precio de mercado del activo o recurso natural agotable,  $Cmg(E)$  equivale al costo marginal de extracción del recurso, mientras que  $E(t)$  indica el nivel de extracción del mismo, todo en el periodo  $t$ . Esta expresión (31) es equivalente a la depreciación económica de un recurso natural agotable (Hartwick, 1989; Hartwick y Lindsey, 1989).

Bajo ciertas condiciones (un supuesto importante es que la renta marginal aumenta a medida que sube la tasa de interés), la RHT usa un VPN particular, aquél estimado por los agentes del mercado. La razón es que la RHT del periodo corriente es el resultado de un proceso de optimización intertemporal basado en las expectativas de precios y costos futuros que el agente optimiza (Gómez-Lobo, 1991).

Esta metodología tiene la ventaja de usar infor-

mación relativa a los precios y costos de extracción observables en el mercado sin necesidad de proyectar las rentas en el futuro de forma arbitraria. Sin embargo, su uso no está exento de inconvenientes: podría tomar valores negativos cuando las empresas que manejan los recursos generan pérdidas o cuando los costos de capital son mayores que los beneficios contables (Pasco-Fónt et al., 1996). Además, si los costos son altos, el PN entregará un valor bajo, y por tanto conllevará a una subestimación de la renta del recurso. Respecto a lo último, la consecuencia es que parte de la renta del recurso que debería ser reinvertida para el desarrollo sustentable ha sido quizá gastada en producción ineficiente en el periodo corriente (Santopietro, 1998).

### Costo de Usuario (CU)

El Serafy (1989) propone valorar la depreciación del activo natural sobre la base del costo por agotamiento del mismo, estimado como parte del VPN esperado en la vida útil del activo; es decir, la parte del ingreso neto que debe ser reservado en el presente para asegurar un ingreso neto futuro permanente en el momento del agotamiento total del activo.

A diferencia del método del PN donde éste equivale en su totalidad a la renta del recurso, la cual comprende dos componentes: componente capital,

$$\int_0^{\infty} X_t e^{-rt} dt = \int_0^T R_t e^{-rt} dt \quad (32)$$

Donde  $r$  es la tasa de interés (nótese que aquí 'e' es la base de los logaritmos naturales, o constante de Neper, y no la variable contaminación como en las ecuaciones 26 y 27) y el periodo de vida espera-

llamado Costo del Usuario (R-X) que es la parte a ser reinvertida para obtener un flujo de ingresos constantes. De esta forma, el CU equivale al valor del consumo del *stock* del recurso natural (depreciación natural). El otro componente es llamado ingreso (X) y es la porción que puede ser consumida.

Para obtener el CU, inicialmente se iguala el VPN de un flujo finito de ingresos netos corrientes  $R_t$  (RR) al VPN de un flujo infinito de ingresos sostenibles (permanentes)  $X_t$  de la siguiente forma:

do del recurso es representado por  $t$ . Asumiendo  $R_t$  constante y resolviendo la diferencia entre  $R$  y  $X$  se obtiene:

$$R - X = R \left[ \frac{1}{(1+r)^{s/q}} \right] \quad (33)$$

Siendo  $s/q$  la tasa de reservas que es igual al número de años remanentes antes que el *stock* se agote; donde  $s$  es el *stock* total de reservas (nótese que esta variable 's' no es la misma que la variable 's' en la ecuación 2) y el nivel de producción corriente.

Puesto que este método usa inicialmente la renta del recurso, no sólo tiene los mismos inconvenientes del método de PN y sino que también presenta otras desventajas. Una es inferir una tasa de extracción constante que depende de cada empresa (minera) y de los precios (de los metales) que son volátiles. Otra es que la tasa de descuento asumida constante es poco realista, siendo fuente de controversia. Finalmente, debido a que no está sustentado en un modelo de extracción óptima del recurso y siendo la tasa de interés endógena, este método no sería muy útil para una pequeña economía abierta donde la tasa de interés es exógena. Por tanto, es recomendable no usarla (Gómez-Lobo, 2001).

Con lo anterior, puesto que los métodos VPN y PN son equivalentes bajo condiciones de equilibrio de largo plazo (Repetto, 1991), sería indiferente el uso de alguna de ellas. Sin embargo, dados los inconvenientes mencionados es preferible elegir el método del PN. Este método, sustentado en un modelo de optimización intertemporal a diferencia del método del CU, tiene además mayor información disponible para su aplicación, lo que sumado a lo anterior hace que el método del precio neto sea generalmente el de elección.

### OPERACIONALIZACIÓN DEL CONCEPTO DE SUSTENTABILIDAD

Muchas de las preocupaciones relacionadas con el agotamiento de los recursos naturales y la degradación del medio ambiente se reflejan en el concepto de desarrollo sostenible. Este concepto fue inicialmente definido por la "Comisión para el Medio Ambiente y el Desarrollo" conocida también como "Comisión Brundtland": "La humanidad tiene la habilidad de hacer que el desarrollo sea sostenible" para asegurarse de que satisfaga las necesidades del presente, sin comprometer la habilidad de las generaciones futuras de satisfacer sus propias necesidades' (Brundtland, , 1987, p.8). La Comisión adicionalmente postula (p.9) que: "...el desarrollo sostenible no es un estado fijo de armonía sino que un proceso de cambio en el cual la explotación de los recursos, la dirección de las inversiones, la orientación del cambio tecnológico, y el cambio institucional debe ser consistente con las necesidades tanto futuras como presentes".

La definición de desarrollo sostenible de la Comisión Brundtland es intencionalmente vaga, de tal modo que la ordenación de dicho concepto no está limitada sólo a una categoría. Si bien esto es útil en términos de su sencillez, la definición ofrece poco en el camino de la medición y objetivos para lograr el desarrollo sostenible.

En su afán de operacionalizar el concepto, los in-

vestigadores desde diversas disciplinas, han llegado a posiciones divergentes acerca del concepto de desarrollo sostenible.

## **CORRIENTES DE PENSAMIENTO EN RELACIÓN AL CONCEPTO DE SOSTENIBILIDAD**

### **El enfoque de capital al desarrollo sostenible**

Este enfoque se deriva de los modelos conceptuales desarrollados en el presente informe. En este enfoque, el concepto de capital es ampliado hasta incluir elementos relevantes para el desarrollo humano. En este enfoque, aún cuando existe cierto grado de debate, el concepto de sostenibilidad se relaciona con el concepto económico de ingreso, definido por Hicks (1946) como: "Ingreso es la cantidad máxima que un individuo puede consumir durante un periodo y mantener el mismo nivel de bienestar al principio que al final del periodo".

Aunque existen evidentes e importantes diferencias entre los asuntos económicos de una persona y los de toda una nación, la definición anterior de la renta se aplica igualmente bien a ambos. Los ingresos de una nación pueden ser definidos como la cantidad que puede gastar colectivamente durante un período sin agotar la base de capital (o riqueza) que genera dichos ingresos. Por lo tanto, el desarrollo sostenible es el desarrollo que asegura cero reducciones en la riqueza nacional per cápita por medio del reemplazo o la conservación de las fuentes de dichas riquezas, esto es, el *stock* de capital producido, humano, social y natural.

Sin embargo, el enfoque de capital no es la única corriente de pensamiento que intenta operacionalizar el concepto de sustentabilidad. Otros enfoques existen, tales como "el enfoque de tres pilares para el desarrollo sostenible" y el enfoque ecológico que se describen brevemente a continuación.

### **El enfoque ecológico al desarrollo sostenible**

El aspecto central en este enfoque es la visión de que el sistema económico y el sistema social son subsistemas del sistema ecológico y por lo tanto, los aspectos económicos y sociales están supeditados al aspecto ecológico. El desarrollo, desde este punto de vista, destaca como un punto de primordial importancia la capacidad o salud de los ecosistemas para responder positivamente a los cambios y oportunidades o la capacidad dinámica de los ecosistemas para adaptarse a las perturbaciones externas (Golley, 1990). La estimación de la salud de los ecosistemas para adaptarse a las perturbaciones externas depende primero, de las medidas de presión ejercida por las actividades del ser humano sobre los ecosistemas,

la extracción de materiales y energía, la reestructuración física, las emisiones contaminantes, la apropiación del espacio y la productividad del ecosistema, entre otros. En segundo lugar, depende de la medida de las respuestas de los ecosistemas a las presiones humanas.

### **El enfoque de tres pilares para el desarrollo sostenible**

En este enfoque, el concepto de sostenibilidad abarca tanto el aspecto ecológico como el aspecto económico y social, en una forma equilibrada e integrada. Privilegiar uno de los enfoques en desmedro del resto es insatisfactorio por las siguientes razones. Primero, cada uno de los tres pilares es independientemente crucial. Segundo, cada uno de ellos es urgente y poco tiempo existe para el debate acerca de cual de ellos tratar primero.

Finalmente, los tres pilares están interconectados, y por lo tanto existe un riesgo de generar problemas en un sistema al tratar de corregir problemas en otro. Los tres sistemas comparten características comunes, no obstante, son equivalentes en primacía e importancia (Robinson y Tinker, 1998).

### **El Enfoque de Capital y el Debate entre Sustentabilidad Débil y Sustentabilidad Fuerte**

Aún cuando existe acuerdo en que todas las formas de capital son importantes, desde el punto de vista de la sustentabilidad existe debate acerca del grado en el cual el capital natural puede ser reemplazado por capital artificial (o producido). Para un grupo de investigadores, el capital humano y el producido son sustitutos del capital natural. Para otros, dicha capacidad de sustitución es limitada o simplemente no existe. De acuerdo a esta línea de pensamiento, muchas formas de capital sólo se valorizaran en la medida que se combinan con otras formas de capital; por ejemplo, una flota pesquera será valiosa sólo en la medida que exista un cierto *stock* de peces (capital natural). Como se vio más arriba, la controversia acerca del grado de sustitución del capital natural ha dado lugar a diferentes enfoques de desarrollo sostenible. Según los diversos enfoques surgen los conceptos de sustentabilidad débil (SD) y sustentabilidad fuerte (SF).

Bajo el enfoque de SD -como ha sido mencionado en este artículo- la mantención de la riqueza de una nación se refiere a la mantención del capital total de la nación sin distinción de la composición de dicho capital y, por lo tanto, asume que todas las formas de capital son sustituibles entre sí. Claramente permite el agotamiento o la degradación de los recursos na-

turales, siempre y cuando dicho agotamiento sea compensado con aumentos en las existencias de otras formas de capital.

La SF fuerte requiere que cada una y todas las formas de capital se mantengan intactas, independientemente de las otras. El supuesto implícito en esta interpretación es que las diferentes formas de capital son principalmente complementarias, es decir, todas las formas son necesarias para otorgar valor al capital

Los proponentes del paradigma de SD plantean que la elasticidad de sustitución entre capital natural y factores de producción convencionales es positiva y por lo tanto, disminuciones en el capital natural pueden ser compensadas por aumentos en el capital producido, de tal manera de mantener el *stock* agregado de capital constante

Los proponentes de SF, por otro lado, argumentan que es el *stock* de capital natural y no el capital agregado el que requiere ser conservado e incrementado. La discusión en la sección 2 de este documento plantea dos razones por las cuales, bajo este enfoque, mantener el *stock* de capital natural no es un aspecto esencial para que el desarrollo sea sostenible. Primero el cambio tecnológico permite aumentar la eficiencia en el uso de los recursos naturales. Segundo, una alta elasticidad de sustitución permite reemplazar capital natural por capital producido. Sin embargo, como ha sido planteado por Pearce y Turner (1994) y otros autores, existen aspectos que ponen en duda esta racionalidad. De acuerdo a esta corriente de pensamiento, el capital natural conlleva los cuatro tipos de funciones que fueron analizados en la sección introductoria. Primero, provee de materia prima para la producción y el consumo directo tales como alimentos, madera y combustibles fósiles. Segundo, asimila los residuos de la producción y el consumo. Tercero, provee servicios de amenidades, tales como los servicios de recreación. Cuarto, provee las funciones básicas de soporte de la especie humana y es el pilar básico en el cual las categorías previamente mencionadas se sustentan. Existirán considerables posibilidades de sustitución entre las primeras tres categorías de funciones de capital, sin embargo, la función de soporte básico de la vida es muy difícil de sustituir (Barbier y otros 1994). Más importante aún, esto significa que en el caso de ciertos recursos naturales que proveen funciones básicas tales como alimento, agua, aire respirable y clima estable, estos debieran estar sujetos a las reglas planteadas por el enfoque de SF.

Existen otras razones por las cuales el enfoque de SF pareciera ser el adecuado. Primero, porque existe considerable riesgo, incertidumbre e ignoran-

cia asociada a la manera en la cual el capital natural funciona, lo que debería inducir, si existe adversidad al riesgo, a un comportamiento cauteloso en el manejo de ciertos tipos de capital natural. En segundo lugar, la pérdida de capital natural puede ser irreversible. En tercer lugar, como existe evidencia que sugiere que los seres humanos son más adversos a pérdidas que a ganancias en utilidad (Kahneman y Tversky, 1979), esto debe implicar que la reducción en bienestar debido a pérdidas en las funciones del capital natural es mayor que las potenciales ganancias debido a su explotación. Cuarto es posible - sobrepasando cierto turning point en el nivel de ingreso- que incrementos en el consumo no sean un sustituto para las pérdidas de capital natural (Figueroa y Pastén, 2010). Finalmente, tanto el paradigma de la sustentabilidad débil como el de la sustentabilidad fuerte no son contrastables, ya que descansan en supuestos acerca del futuro distante, que en ambos casos pudieran ser válidos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARROW K., BOLIN B., COSTANZA R., DASGUPTA P., FOLKE C., HOLLING C.S., JANSSON B.O., LEVIN S., MALER K.G., PERRINGS C., PIMENTEL D., 1995. Economic growth, carrying capacity, and the environment. *Science* 268, 520-521.
- ASHEIM G., 1994. Net National Product as an indicator of sustainability. *Scandinavian Journal of Economics* 96, 257-265.
- ASHEIM G., 1997. Adjusting green NNP to measure sustainability. *Scandinavian Journal of Economics* 99, 355-370.
- BARBIER E.B., BURGESS J.C., BISHOP J.T., AYLWARD B.A., 1994. *The economics of the tropical timber trade*. Londres, Earthscan Publications.
- BRUNTLAND G. (ed), 1987. *Our Common Future: The World Commission on Environment and Development*, Oxford; Oxford University Press.
- CALFUCURA E., 1998. *Sustentabilidad e Ingreso Económico en la Minería Chilena*. Tesis de Magister en Economía Ambiental, Universidad de Chile. Santiago, Chile.
- CAIRNS R., Davis G., 1997. *On Using Current Information to Value Hard-rock Mineral Properties*. Working Paper-División of Economics and Business, Colorado School of Mines.
- DASGUPTA P., Heal G., 1974. *The Optimal Depletion of Non-Renewable Resources*. Review of Economics Studies, Symposium on the Economics of Exhaustible Resources.
- EL SERAFY S., 1993. *The Environment as Capital*.

- En Toward Improved Accounting for the Environment, editado por Erns Lutz, World Bank.
- FIGUEROA E., CALFUCURA E., 2002. Depreciación del Capital Natural, Ingreso y Crecimiento Sostenible : Lecciones de la Experiencia Chilena. Series Documentos de Trabajo No 138, Banco Central de Chile.
- FIGUEROA E., CALFUCURA E., 2003. Growth and Green Income: Evidence from Mining in Chile. *Resources Policy*, 29, 165-173.
- FIGUEROA E., PASTEN R., 2010. A Social Preference Characterization of the Environmental Kuznets Curve. Working Paper.
- GOLLEY F.B., 1990. The Ecological Context of a National Policy of Sustainability. In *Towards an Ecologically Sustainable Economy*, Aniansson, B. and U. Svedin (eds.), Stockholm: Swedish Council for Planning and Coordination of Research.
- GÓMEZ-LOBO A., 1991. Desarrollo Sustentable del Sector Pesquero Chileno en los años 80. En *Desarrollo y Medio Ambiente: Hacia un Enfoque Integrador*, editado por Joaquín Vial, CIEPLAN, Santiago.
- GOMEZ-LOBO A., 1993. Sustainable Development, Optimal Growth and Natural Resources Accounting in a Small Economy. Working Paper 93-08, Centre for Social and Economic Research on the Global Environment, UK.
- GOMEZ-LOBO A., 2001. Sustainable development and natural resource accounting in a small open economy: a methodological clarification. *Estudios de Economía* 28, 203-216.
- HAMILTON K., 1994a. Exhaustible resources and net national product draft. Department of Economics, University of East Anglia, Norwich.
- HAMILTON K., 1994b. Green adjustments to GDP. *Resources Policy* 20, 155-168.
- HAMILTON K., 2000. Genuine saving as an indicator of sustainability. *Environmental Economic Series*, World Bank, Washington D.C. paper, 77.
- HARTWICK J.M., 1977. Intergenerational equity and investing of rents from exhaustible resources. *American Economic Review* 67, 974-972.
- HARTWICK J.M., 1989. Non-renewable resources extraction programs and markets. Harwood Academic Publisher: Chur et. al.
- HARTWICK J.M., 1990. Notes on economic depreciation of natural resources stocks and National Accounting. Mimeo, Department of Economics, University of Quenn's.
- HARTWICK J.M., LINDSEY R., 1989. Economic depletion of exhaustible resource stock. Department of Economics, Queen's University. Discussion, paper N° 741.
- HICKS J. R., 1946. *Value and Capital*, 2nd Edition, Oxford: Oxford University Press.
- KAHNEMAN D., TVERSKY A., (1979) "Prospect Theory: an analysis of decision under risk", *Econometrica*, vol. 47.
- LANDEFELD J., HINES J., 1982. Valuing Non-Renewable Natural Resources: the Mining Industries. En *Measuring Nonmarket Economic Activity: BEA Working Papers*, Bureau of Economic Analysis.
- MALER K.G., 1991. National Accounts and Environmental Resources. *Environmental and Resources Economics*, N°1.
- PASCÓ-FONT A., MCCORNICK E., SCHROTH E., 1996. Ingreso sostenible de la minería peruana. *Investigaciones Breves 1*, Consorcio de Investigación Económica y Social - CIES.
- PEARCE D., ATKINSON G., 1993. Capital theory and the measurement of sustainable development: An indicator of weak sustainability. *Ecological Economics* 8, 103-108.
- PEARCE D.W., TURNER R.K., 1994. *Economía de los recursos naturales y del medio*. Colegio Economistas de Madrid-Celeste Ediciones, Madrid.
- REPETTO R., MARGRATH W., WELLS M., BEER M., ROSSINI F., 1989. Wasting Assets: Natural Resources in the National Income Accounts. World Resources Institute, Washington, DC.
- ROBINSON J., TINKER J., 1998. Reconciling Ecological, Economic, and Social Imperatives. In Schnurr, J. and S. Holtz eds. *The Cornerstone of Development: Integrating Environmental, Social and Economic Policies*, Ottawa: International Development Research Centre,
- SANTOPIETRO D., 1998. Alternative methods for estimating resource rent and depletion cost: the case of Argentina's YPF. *Resources Policy* 24, 39-48
- SAMUELSON P., 1961. The evaluation of social income, capital formation and wealth. In Lutz and Hage (eds.), *The Theory of Capital*; St. Martin's Press; New York.
- SOLOW R., 1974. Intergenerational equity and exhaustible resources. *Review of Economic Studies*, pp. 29-46.
- SOLOW R., 1986. On the intergenerational allocation of natural resources. *Scandinavian Journal of Economics* 88, 141-149.
- VINCENT J., 1996. Resource Depletion and Economic Sustainability in Malaysia. Mimeo Harvard Institute for International Development.
- WEITZMAN M., 1976. On the welfare significance of National Product in a dynamic economy. *Quarterly Journal of Economics* 90, 156-162.
- WEITZMAN M., 1997. Sustainability and technical progress. *Scandinavian Journal of Economics* 99, 1-13.