

La apropiación humana de producción primaria neta (AHPPN) como aproximación al metabolismo económico

O. Carpintero

Departamento de Economía Aplicada, Universidad de Valladolid. Av. Valle Esgueva, 6. 47011 Valladolid

La apropiación humana de producción primaria neta (AHPPN) como aproximación al metabolismo económico. La economía ecológica entiende que el sistema económico es un subsistema dentro de un sistema más amplio como es la biosfera, y la sostenibilidad debe ser vista como una cuestión de escala o tamaño del sistema económico dentro de esa Biosfera. Una de las formas de medir ese tamaño o escala en términos físicos, cuantificando los flujos de energía, materiales y residuos que atraviesan una economía y conforman su metabolismo. En efecto, al igual que los organismos vivos que ingieren energía y alimentos para mantenerse y permitir su crecimiento y reproducción, una economía convierte materias primas, energía y trabajo en bienes finales de consumo —más o menos duradero—, infraestructuras y residuos. Una parte importante de este metabolismo lo constituyen los recursos renovables procedentes anualmente de la fotosíntesis (Producción Primaria Neta, PPN) que permiten mantenerse, crecer y reproducirse a todos los organismos heterótrofos, incluidos los seres humanos. Un buen indicador para saber el impacto del metabolismo económico y social sobre esta fracción lo constituye la Apropiación Humana de Producción Primaria Neta (AHPPN). En este artículo se exploran las posibilidades que ofrece esta herramienta para la evaluación de la sostenibilidad económico-ecológica de las sociedades industriales, así como las estimaciones que se han realizado de la AHPPN a escala planetaria (que se sitúan entre el 20 y el 40 por 100), y su influencia en el estudio de las relaciones economía y naturaleza desde el punto de vista histórico.

Palabras clave: Apropiación humana de producción primaria neta, metabolismo económico, sostenibilidad, economía ecológica

Human appropriation of net primary productivity (HANPP) as an approach to economic metabolism. Ecological economics points out that the economy has to be seen as a sub-system of the environment and sustainability is basically a "scale issue", that is, it refers to the size occupied by the economic system inside the Biosphere. This "scale" can be measured in physical terms, i.e., by quantifying the flows of energy, materials and wastes that constitute the metabolism of the economy. Just like a living organism ingests energy and food to provide for its own maintenance and reproduction, the economic system converts raw materials, energy and labor into finished products, infrastructures and wastes. Renewable resources and products of photosynthesis are an important part of the economic metabolism because are the basis for maintenance, growth and reproduction of all heterotrophs (human beings included). For this reason, we can use the Human Appropriation of Net Primary Production (HANPP) to measure the ecological impact of economic metabolism on this key fraction of resources. In this paper, we explore the possibilities of this tool for evaluating the ecological-economic sustainability of industrial societies, and estimations of HANPP at world level (from 20% to 40%) are analyzed. The influence of such an indicator for describing the nature-economy relationships are considered too.

Key words: Human appropriation of Net Primary Production, economic metabolism, sustainability, ecological economics

“El paradigma ecológico aísla la actividad humana dentro de una caja etiquetada como “perturbaciones”. Por su parte, el paradigma económico, aísla la dinámica de los ecosistemas en una caja que lleva por título “externalidades”. Ambas abstracciones son exitosas siempre y cuando se dé el supuesto de que la actividad humana se produce en una escala relativamente pequeña. Pero el supuesto se vulnera claramente cuando la actividad humana alcanza las dimensiones globales de la última mitad del siglo XX”.

Robert V. O'Neill y James R. Kahn (2000)

Introducción

La interesante constatación de Robert O'Neill y James Kahn con la que se ha querido encabezar este texto obliga, seguramente, a dos cosas: a una matización y a un reconocimiento. La primera tiene que ver con el "paradigma económico" al que se alude, y conviene advertir que esa manera de representar las relaciones economía-naturaleza —aunque dominante— no es la única entre los economistas: de hecho, comienza poco a poco a tambalearse. Y en lo que atañe al segundo aspecto, al reconocimiento, parece claro que el tamaño, "escala", e impacto alcanzados por las actividades humanas en el último medio siglo son tales que resulta complicado seguir hablando de naturaleza virgen o no humanizada. Se comprende, así, que tengan también razón O'Neill y Kahn cuando sugieren que la especie humana —o más concretamente el *Homo economicus*—, se ha convertido en una "especie clave" (*keystone species*) tal y como suele entenderse ésta en teoría ecológica, a saber: aquella que controla el medio ambiente y con ello determina también qué otras especies pueden sobrevivir en su presencia. El problema, sin embargo, surge al comprobar que el paradigma hegemónico en Ecología no considera la especie humana en estos términos, sino más bien como una "perturbación externa" al ecosistema natural.

Afortunadamente, en los últimos veinte años ha ido cuajando una larga tradición histórica de economistas, ecólogos y otros científicos naturales descontentos con el tratamiento que sus respectivas disciplinas otorgaban a estos asuntos. Ello ha redundado en el fortalecimiento de un enfoque transdisciplinar que tiende puentes entre la ciencia económica y esa economía de la naturaleza que es la ecología, pero también entre la ciencia económica y esa economía de la física que es la termodinámica. Así pues, planteamientos como la *Economía Ecológica*, o la *Ecología Industrial* —a través, por ejemplo, de revistas como *Ecological Economics* o *Journal of Industrial Ecology*— están sirviendo como cobijo para estas aproximaciones que, en general, descansan sobre dos supuestos importantes: a) el sistema económico es un subsistema dentro de un sistema más amplio (Biosfera) y, por tanto, su funcionamiento está restringido y condicionado por las leyes que gobiernan el funcionamiento de la propia biosfera (esto es, las leyes de la termodinámica y de la ecología); y b) la sostenibilidad ambiental de ese subsistema económico dependerá, en gran medida, del tamaño o "escala" que dicho subsistema ocupe en el total de la Biosfera, y de la capacidad, tanto para abastecerse de recursos renovables, como para cerrar los ciclos de materiales convirtiendo los residuos en nuevos recursos aprovechables (véase, por ejemplo, entre la abundante literatura: Naredo, 1987; Georgescu-Roegen, 1971, 2007; Daly, 1996; Martínez Alier y Roca, 2000; Ayres y Ayres, eds., 2002).

Ahora bien, ¿cómo medir esa escala o tamaño ambiental de manera razonable? Los economistas ecológicos han respondido a esta cuestión aportando dos alternativas. Por un lado, hacerlo en términos *físicos*, cuantificando los flujos de energía, materiales y residuos que atraviesan una economía y conforman su particular metabolismo. Pues, al igual que los organismos vivos que ingieren energía y alimentos para mantenerse y permitir su crecimiento y reproducción, una economía convierte materias primas, energía y trabajo en bienes finales de consumo —más o menos duradero—, infraestructuras y residuos (Ayres, 1989; Ayres y Simonis, 1994; Fischer-Kowalski y Haberl, 1993; Adriaanse, *et al.*, 1997; Mathews, *et al.*, 2000; Carpintero, 2005, y, en general, los trabajos del Wuppertal Institut alemán y del Instituto de Ecología Social de Viena [\(1\)](#)).

La otra posibilidad consiste en cuantificar el tamaño o escala en términos *territoriales*, esto es, estimando el espacio que un país, región o ciudad necesita para satisfacer su modo de producción y consumo, y para absorber sus residuos. Indicadores como la huella ecológica (Wackernagel and Rees, 1996; WWF, 2000), y los derivados de análisis como el *Land Use-Land Cover*, estarían dentro de esta categoría. Ambas aproximaciones permiten, de todos modos, obtener información sobre la capacidad de los ecosistemas para proporcionar recursos y absorber los residuos, y es esta complementariedad físico-territorial la que ha llevado a algunos investigadores a tender puentes entre ambas opciones metodológicas con resultados notables para el análisis de la sostenibilidad. Análisis que, por ejemplo, vinculan mutuamente los cambios en el uso del suelo con las modificaciones del metabolismo socioeconómico (véanse, a este respecto, los artículos aparecidos en el número monográfico de la revista *Land Use Policy* 21, 2004).

Medir, pues, el tamaño o escala. Para este esfuerzo, una de las posibles líneas de colaboración entre economistas ecológicos y ecólogos surge al analizar *el componente renovable del metabolismo económico, especialmente la biomasa*. Parece claro que uno de los límites *ecológicos* que se presentan a la expansión y el crecimiento económico viene de la mano de la Producción Primaria Neta (PPN) generada anualmente por los ecosistemas, esto es, la producción de la vegetación una vez descontada la gastada en la respiración de las plantas, y que, por ello mismo, constituye la base para el mantenimiento de todos los seres vivos heterótrofos (consumidores y descomponedores).

Es fácil entender que un indicador como la AHPPN no sea ajeno a los afanes de la economía ecológica y a la evaluación de la (in)sostenibilidad. Por ejemplo, Herman Daly (1992) ya propuso a comienzos de los noventa su utilización al caracterizar nuestra economía como la de "un mundo lleno", donde la AHPPN certificaba la expansión del sistema económico dentro de una biosfera finita. De hecho, es a lo único que -en sentido estricto- podemos llamar *producción neta*, habida cuenta que la conversión de

energía en materia orgánica por parte de las plantas verdes a través de la fotosíntesis se puede considerar claramente como aquella fracción que —en términos económicos— “podemos consumir sin empobrecernos”. Además, su carácter renovable permite repetir el proceso período tras período. Sin embargo, en ese “consumir sin empobrecernos” están incluidas *todas* las especies animales, seres vivos y ecosistemas enteros que dependen también de dicha PPN para su supervivencia y estabilidad.

Metabolismo económico y AHPPN en perspectiva histórica

Caben pocas dudas de que la apropiación humana de la producción primaria neta (AHPPN) está muy relacionada con el metabolismo socio-económico. En cualquier sociedad tendremos, en primer lugar, los *flujos materiales* por unidad de tiempo, que incorporan los insumos procedentes del medio ambiente que pasan al sistema económico (en toneladas o Kg/año) y que una vez transformados en bienes y servicios, regresan de nuevo al medio ambiente como residuos. Por otro lado está el *flujo de energía* necesario para poner en marcha la maquinaria económica (combustibles fósiles, biomasa, solar, etc.). Ahora bien, *al menos*, todas las sociedades necesitan un flujo de energía y materiales en consonancia con las “demandas biológicas” de sus respectivas poblaciones, lo que viene a suponer, *por habitante y día*, unos 12 MJ de energía, 10 kg de aire, entre 2 y 4 kg de agua, y de 2 a 3 kg de biomasa para un adulto medio (Fischer-Kowalski y Haberl, 1997).

A partir de aquí, el metabolismo socioeconómico dependerá de los requerimientos de energía y materiales que cada economía demande para fabricar y consumir bienes y servicios, que serán diferentes cuantitativa y cualitativamente, según estemos hablando de sociedades cazadoras-recolectoras (2), agrarias o industriales (Tabla 1). No en vano, en términos totales, las economías industriales requieren entre 4 y 20 veces más energía por habitante y año que las sociedades de base agraria o cazadora-recolectora; a la vez que demandan entre 5 y 20 veces más insumos materiales. Este crecimiento en las exigencias de las modernas sociedades se ha venido apoyando en un progresivo proceso de “colonización” humana de la naturaleza para sus propios fines, que da sus primeros pasos con la agricultura y se modifica cualitativamente con la civilización industrial apelando no sólo a la biomasa sino a los recursos proporcionados por la corteza terrestre (Fischer-Kowalski y Haberl, 1993; 1997) (3).

Tabla 1. Metabolismo económico por habitante y año de diferentes modos de producción. Fischer-Kowalski y Haberl (1997, 70). La sociedad industrial se refiere a Austria durante 1990. m.s: materia seca.

	Sociedades cazadoras y recolectoras	Sociedades agrarias	Sociedades industriales
Input Energético (GJ/hab/año)	10-20 (comida, leña, ...)	65 (aprox.) alimentación: 3 piensos: 50 leña: 12	223 energía fósil: 125 hidroeléctrica: 23 leña y madera: 33 biomasa agrícola: 42
Input Material (tn/hab/año)	1 (aprox.) (comida, leña, ...)	4 (aprox.) alimentación: 0,5 pienso (m.s): 2,7 madera: 0,8	21,5 biomasa agrícola: 3,1 madera: 3,3 energía fósil: 3,0 arena, grava, ...: 9,0 otros: 3,2

De igual modo, dentro de ese metabolismo, la parte considerada PPN y su apropiación humana también tiene una importancia desigual. En el caso de las sociedades cazadoras-recolectoras, se estima que la AHPPN se encuentra entre el 0,001 y el 0,01 por 100, mientras que el salto a sociedades agrícolas implica ya un 20 por 100 de AHPPN (Haberl, 2002), llegándose a porcentajes del 40-50 por 100 cuando hablamos de sociedades industriales como, por ejemplo, la austriaca (Haberl, 1995; 1997; 2002; Krausmann, 1999; 2001; 2003).

Estos planteamientos y resultados han tenido aplicación concreta en el caso austriaco, gracias a la iniciativa del Instituto de Ecología Social, bajo la dirección e impulso de Helmut Haberl en esta cuestión. Ya desde sus primeros trabajos Haberl (1995, 1997) planteó una definición de AHPPN que presenta mucho interés aunque tampoco esté exenta de problemas y críticas, a saber: se considera AHPPN a la diferencia entre la PPN de la vegetación potencial (denominada PPNo esto es, en ausencia de intervención humana en el ecosistema) y la fracción de PPN que permanece en el ecosistema después de producirse la cosecha o recolección (PPNt). Esta última se obtiene, a su vez, restando de la PPN en ese momento determinado, la PPN cosechada o desechada como consecuencia de la recolección (PPNh). Otra forma de obtener ese mismo resultado es sumar a la PPN cosechada, la variación en la PPN consecuencia de los cambios en los usos del suelo. Pero, sin duda, uno de los aspectos polémicos de esta definición es la cuantificación de la PPN potencial (es decir, en ausencia de intervención humana), tanto por el propio concepto, como por el margen de incertidumbre que conlleva su cálculo. Sin embargo, también presenta la ventaja de registrar un par de hechos importantes: a) las variaciones en la AHPPN consecuencia de cambios en usos del suelo respecto a la vegetación potencial, y b) hasta qué punto los cambios tecnológicos en la agricultura pueden aumentar considerablemente la

PPN cosechada un año, aunque este incremento no tenga necesariamente que traducirse en una reducción de la PPN que permanece en el ecosistema después de la cosecha o recolección.

Este resultado general se enriquece al contemplar la evolución histórica en un país determinado. Fridolin Krausman ha presentado estimaciones para el mismo caso austriaco entre 1830 y 1995 (Krausmann 1999, 2001) en las que emerge algún elemento de sorpresa en el análisis. Como revelan dichos trabajos, aunque *la biomasa extraída se ha incrementado en el período un 70 por 100, la apropiación de la PPN ha descendido ocho puntos porcentuales desde comienzos del siglo XIX*. Las razones hay que buscarlas en el “aumento” de la productividad agrícola y forestal por la intensificación de las labores. De hecho, como reconoce Krausman, en la actualidad las diferencias de productividad de la actual vegetación son muy pequeñas respecto a las de la potencial. Pero, a la vez que se produjo este fenómeno, la reducción de la PPN por el efecto del crecimiento de la urbanización en 4,7 veces desde 1830, se vio más que compensado por el aumento de la superficie y rendimiento forestal.

Este “sorprendente” resultado en el que el incremento de la productividad agraria y forestal no conlleva necesariamente un incremento de la AHPPN relativiza, a juicio de Krausmann (2001), la afirmación general de que las sociedades industrializadas han incrementado su presión sobre los ecosistemas medida en términos de AHPPN. Sin embargo, lo cierto es que esta cautela no se cumple en otros casos. Por ejemplo, al aplicar análisis similares a la evolución de ecosistemas particulares de gran interés como los deltas de los ríos (Day, *et al.*, 1997; Cardoch, *et al.*, 2002), *las conclusiones son curiosamente las contrarias*. Esto es precisamente lo que ha ocurrido en el caso del delta del Ebro, donde la AHPPN ha experimentado un aumento considerable ligada a los usos socioeconómicos, teniendo en cuenta el paso desde una vegetación hipotética previa a la intervención humana, a la PPN apropiada con los usos históricos del delta y llegando hasta el estado actual en que dicha apropiación alcanza el 32 por 100 (Cardoch, *et al.*, 2002).

La especie humana como fuerza geológica...

Cuando ampliamos la lente e intentamos considerar el metabolismo socioeconómico a escala planetaria, los resultados son también reveladores en dos sentidos. En primer lugar porque muestran que la especie humana actúa desde hace tiempo como la principal fuerza *geológica* y *biológica* por su intervención sobre el territorio y la corteza terrestre (Hooke, 1994; Azard, *et al.*, 1996; Douglas y Lawson, 1997; 1998; 2002; Naredo y Valero, 1999). Y, en segundo lugar, que la civilización industrial, vista en perspectiva histórica, constituye una auténtica rareza en la historia de la humanidad.

Efectivamente, como ya se apuntaba a finales de los noventa, la actual civilización industrial movilizaba en 1995 un total de 104 mil millones de toneladas de energía y materiales diversos, incluyendo tanto biomasa, como rocas y minerales (Naredo y Valero, 1999). De ahí que la intervención humana sobre el territorio lleve a que, en muchas sustancias, el tonelaje movilizado por nuestra especie para sus propios fines supere ampliamente las cantidades que mueve la naturaleza a través de sus ciclos biogeoquímicos. Por ejemplo, *la civilización industrial extrae de la corteza terrestre anualmente un 40 por 100 más de hierro, 24 veces más cobre, 12 veces más plomo y 8,5 veces más molibdeno que el movilizado de forma natural por la biosfera. De hecho, las cantidades de estas sustancias extraídas de la litosfera hasta 1990 igualaban ya a las contenidas en la corteza terrestre en el caso del hierro, pero la superaban en casi siete veces en el caso del cinc, en 19 veces en el caso del plomo y 23 en el del cobre* (Azard *et al.*, 1996). Qué duda cabe que esto supone una ruptura drástica a escala mundial, habida cuenta de que la extracción de rocas y minerales de la corteza terrestre triplica al tonelaje de los productos derivados de la fotosíntesis, y los combustibles fósiles igualan por sí solos a la extracción de biomasa total, aunque triplican a la energía consumida en forma de alimentos (Naredo y Valero, 1999).

...y también biológica

Pero no sólo los datos de la especie humana como fuerza geológica resultan esclarecedores para el deterioro de los ecosistemas. A pesar de que la biomasa renovable representa una fracción menor en el volumen total de energía y materiales movilizados, la especie humana también se está comportando socioeconómicamente como una auténtica *fuerza biológica* por su intervención en los procesos y productos derivados de la fotosíntesis.

Desde que se conocieron los primeros resultados sobre estimaciones de la PPN a escala mundial y su distribución territorial llevadas a cabo a mediados de los años 70 —gracias a la iniciativa del IBP (International Biological Program; Lieth y Whittaker, 1975)—, sólo era cuestión de tiempo cruzar estos datos con la utilización que la humanidad hacía de los productos derivados de la fotosíntesis, obteniendo, así, una primera aproximación del porcentaje de PPN que acaparaba una sola especie. Y de ahí a interpretar esta información en clave de sostenibilidad de los modos de producción y consumo sólo faltaba un paso.

Un primer toque de atención al respecto lo proporcionó hace ahora dos décadas —y justo un año antes del célebre Informe Brundtland— el equipo de biólogos encabezado por Peter Vitousek en un célebre trabajo sobre la apropiación humana de la producción primaria de los ecosistemas (Vitousek *et al.*, 1986). Esta aportación ha estado en la base de futuros desarrollos, y las investigaciones posteriores han venido dialogando con ella desde entonces. Vitousek y colaboradores partieron de una estimación de PPN global de 224,5 Pg (m.s.)/año ($224,5 \cdot 10^{15}$ g (m.s.)/año), de las que 132,1 Pg (59%) procedían de ecosistemas terrestres,

y 92,4 Pg (41%) de ecosistemas acuáticos. A partir de aquí, y como es sabido, realizaron una triple estimación de la apropiación humana de esa PPN (baja, intermedia y alta; véase **Tabla 2**). Globalmente obtuvieron un rango que iba desde aproximadamente el 4% de la PPN *terrestre* (3,2% de la PPN global) en la estimación más baja; al 30,7% (20% de la PPN *global*) en la estimación intermedia; finalizando con el 39% (24,8% de la PPN *global*) en la estimación más ambiciosa. Así pues, cuando una sola especie controla bajo su administración tal cantidad de recursos, su impacto sobre la evolución de la biosfera difícilmente puede pasar desapercibido (4).

A partir del estudio elaborado por Vitousek *et al.* (1986), desde la década de los noventa hemos sido testigos de una efervescencia importante en este ámbito, con decenas de estudios y estimaciones diferentes tanto de la PPN terrestre a escala planetaria, como de diferentes ecosistemas mundiales, lo que ha reforzado sin duda los enfoques de la ecología global (Cramer *et al.*, 1999; Alesandrov *et al.*, 1999; Romano, 1999, 2003; Esser *et al.*, 1997; Rojstaczer *et al.*, 2001; Imhoff *et al.*, 2004, Imhoff y Bounoua, 2006; Haber *et al.*, 2007). Ahora bien, tanto la heterogeneidad de los métodos (sobre datos de vegetación o a partir modelos con parámetros ambientales) como la disparidad e incertidumbre de los resultados obtenidos en estos cálculos reclaman una estandarización no sólo metodológica, sino también de los sistemas de información y su tratamiento. La mejor prueba de ello la dio Rojstaczer *et al.* (2001), al subrayar la incertidumbre que rodea la estimación de la AHPPN consecuencia de los sesgos en la estimación de variables tales como la superficie y productividad de las tierras agrícolas, la biomasa deforestada permanentemente por causa del aumento de la población y la colonización, o la proporción de cultivos agrícolas en los bosques tropicales. De ahí dedujeron que la AHPPN se encontraba en un intervalo entre el 10 y el 55%. Este resultado provocó entre los ecólogos cierta sorpresa y críticas sensatas (Field, 2001; Haberl *et al.*, 2002) que matizaban y relativizaban el grado de error obtenido por Rojstacze *et al.* (2001).

Referencia	Definición de AHPPN	AHPPN (%)	Estimación PPN
Vitousek et al. (1986)	<p>Baja: apropiación de PPN a través del uso <i>directo</i> de la especie humana en forma de alimento, combustible y madera.</p> <p>Intermedia: Suma a lo anterior los productos derivados de actividades agrícolas y del uso de energía necesario para realizar dichas actividades, así como la PPN <i>cooptada</i> por la humanidad (materiales que los seres humanos usan directamente o que es utilizado —en los ecosistemas dominados por los humanos— por comunidades de organismos diferentes de aquellos a los que corresponden los ecosistemas naturales).</p> <p>Alta: Suma a los anterior, las pérdidas de la capacidad productiva derivadas de los cambios en el uso del suelo (conversión de terrenos en ciudades, carreteras y otras infraestructuras)</p>	<p>Baja: 4 % (terrestre) y 3,2 % (global)</p> <p>Intermedia: 30,7 % (terrestre), y 20 % (global)</p> <p>Alta: 39 % (terrestre) y 24,8 % (global)</p>	<p>Terrestre: 132,1 Pg</p> <p>Acuática: 92,4 Pg</p> <p>Total = 224,5 Pg</p>
Christensen y Pauly (1995)	PPN acuática necesaria para alimentar las capturas pesqueras	8 %	Acuática: 99,5 Pg
Romano (1999, 2003)	PPN cosechada y talada incluyendo restos de cultivos y talas, pero no PPN subterránea.	12 %	Terrestre: 132,1 Pg Acuática: 100,8 Pg
Rojstaczer et al. (2001)	Igual que la intermedia de Vitousek et al., (1986)	32 % (terrestre)	Terrestre: 120 Pg
Imhoff et al. (2004)	PPN requerida para producir siete categorías de productos: alimentos vegetales, carne, leche, huevos, madera, papel y fibra. Con tres aproximaciones (baja, intermedia y alta) en función de los coeficientes aplicados para la obtención los residuos de cosechas y productos. No incluye cambios de usos del suelo ni quema de superficie forestal.	<p>Baja: 14,10 %</p> <p>Intermedia: 20,32 %</p> <p>Alta: 26,07</p>	Terrestre = 56,8 Pg C
Haberl et al. (2007)	Diferencia entre la PPN potencial hipotética y la PPN que permanece en el ecosistema después de la cosecha o recolección.	23,8 % de la PPN potencial	<p>PPN terrestre potencial = 65,51 Pg C</p> <p>PPN terrestre actual = 59,22 Pg C</p>

Tabla 2. Algunas estimaciones de AHPPN a escala mundial.

Dos iniciativas de largo alcance

El mayor refinamiento metodológico, junto con la explotación exhaustiva de la información estadística, de los sistemas de información geográfica y de los satélites han permitido realizar recientemente dos estimaciones a escala planetaria que han afinado considerablemente los cálculos de la PPN, a la vez que han reducido las incertidumbres (Imhoff *et al.*, 2004; Imhoff y Bounoua, 2006; Haber *et al.*, 2007). Sin embargo, las diferencias principales entre estas dos estimaciones —y entre ellas y las anteriores— tienen que ver, sobre todo, con algunos supuestos metodológicos y con la definición de AHPPN manejada (véase la **Tabla 2**). En cada caso, sin embargo, se aporta información muy valiosa para entender el metabolismo económico mundial y los límites a su expansión.

Imhoff *et al.* (2004a) e Imhoff y Bounoua (2006) adoptaron un enfoque de “oferta” y “demanda” que permitía comparar hasta qué punto el consumo de ciertas zonas se sufragaba con la PPN de dichos territorios o los superaba. Para este propósito, definieron la AHPPN como aquella parte de la PPN terrestre “demandada” por la especie humana para abastecerse de alimentos y madera, incluida también la materia orgánica que se desecha en la cosecha y en el procesamiento de las plantas y los productos. En este sentido eligieron siete categorías de productos aplicadas a 230 países durante 1995: alimentos vegetales, carne, huevos, leche, madera (para construcción y combustible), papel y fibra (5). Varios aspectos merece la pena destacar.

En primer lugar, y tal y como recoge la **Tabla 3**, el consumo de la población en el Centro y Sur de Asia era equivalente al 80% de la AHPPN en su región, siguiéndole Europa Occidental con el 72%. Ambos, muy alejados de África (12%), o Sudamérica (6%). Por otro lado, las diferencias en términos *per capita* entre países ricos y países pobres resultaban también notorias: 3,2 tm C/habitante frente a 1,8 tm C/habitante, esto es, casi el doble. De hecho, para que los países pobres igualaran a los primeros en AHPPN, sería necesario un incremento en la AHPPN mundial del 75% (Imhoff *et al.*, 2004), alcanzando entonces la AHPPN el 35% a escala global. Pero al apoyarse sobre cifras de consumo (producción doméstica + importaciones – exportaciones) y compararlas con la PPN de cada región, lo que se estaba haciendo era calcular cuánta AHPPN sería necesaria para abastecer a esa población *si toda la biomasa saliera de esa misma región*. Esto, que es una ventaja y una prometedora línea de investigación, tiene también un inconveniente: los cálculos así obtenidos atribuyen la AHPPN al lugar donde se consume esa biomasa y no al lugar exacto donde se produce la apropiación o extracción. Sin embargo, en muchas ocasiones, dicho consumo induce una AHPPN que se realiza más allá de las propias fronteras, o lo que es lo mismo, que el comercio internacional permite que la PPN de una región sirva para abastecer a la población de otro continente y viceversa. Esta es, precisamente, una laguna que cubre el segundo trabajo que a continuación comentamos.

La segunda iniciativa de largo alcance (Haberl *et al.*, 2007) es la culminación, a escala planetaria, de los trabajos llevados a cabo sobre esta materia en el Instituto de Ecología Social en Viena. Aplicando la definición de AHPPN comentada páginas atrás, Haberl *et al.* (2007) cifraron en 15,6 Pg C la AHPPN en el año 2000 (incluida también la parte subterránea de la PPN en forma de raíces, etc.). Esta cantidad supone el 23,8 por 100 de la PPN potencial en ese año, de la que aproximadamente dos tercios (10,2 Pg C) tienen que ver con la PPN superficial, y por tanto con un especial impacto sobre el metabolismo socioeconómico. En conjunto, *la biomasa cosechada o recolectada supone el 53% de la AHPPN, mientras que los cambios de uso del suelo con las modificaciones de productividad consiguientes han sido responsables del 40%. Finalmente, los fuegos provocados por la especie humana han contribuido en un 7% al total.*

Zona	Superficie (millón km ²)	Población (millones)	AHPPN per capita (tm)	PPN (Pg C)	AHPPN (Pg)	AHPPN (%)
África	31,1	742	2,08	12,50	1,55	12,40
Asia oriental	11,9	1.400	1,37	3,02	1,91	63,25
Asia central y del sur	10,9	1.360	1,21	2,04	1,64	80,39
Europa occidental	1,20	181	2,86	0,72	0,52	72,22
América del Norte	19,7	293	5,40	6,67	1,58	23,69
Sudamérica	18,4	316	3,11	16,10	0,98	6,09

Tabla 3. AHPPN por la población de diferentes zonas del planeta. Imhoff *et al.* (2004). Véase lo dicho en el texto para la correcta interpretación.

Varios aspectos llaman la atención de las cifras de Haberl *et al.* (2007). En primer lugar, la gran contribución que los usos humanos del suelo han provocado en la AHPPN, reduciendo globalmente la capacidad de la PPN potencial en un 9%. Sin embargo, estos usos del suelo han contribuido de manera diferente al total de la AHPPN. Tal y como muestra la **Tabla 4**, los cultivos agrícolas suponen casi la mitad de la AHPPN, a pesar de representar apenas el 12% de la superficie terrestre total.

Tabla 4. AHPPN según usos del suelo, 2000. Haberl *et al.* (2007).

Categoría	PPNo grC/m ² /año	PPNact grC/m ² /año	PPNh grC/m ² /año	PPNt grC/m ² /año	AHPPN en % de cada categoría	Δ PPN _{LC} (%)	Contribución a la AHPPN total (%)
Cultivos	611	397	296	101	83,5	35,0	49,8
Pastos	486	433	41	392	19,4	11,0	28,5
Bosques	720	720	48	673	6,6	0,0	10,6
Infraestructuras	586	221	63	158	73,0	62,3	3,7
Tierras virgenes	229	229	n.a	229	n.a.	n.1.	0,0
Media global	502	454	63	391	22,1	9,6	92,7(*)

(*) El 7,3% restante se debe a los fuegos provocados por la especie humana.

PPNo: producción primaria neta de la vegetación natural hipotética. PPN act: idem para la vegetación actual.

PPNe: la parte de la actual extraída por la especie humana. PPNt: aquella parte que permanece en el ecosistema. PPNa: la apropiada por la especie humana como diferencia entre la hipotética potencial y la que permanece en los ecosistemas.

Δ PPN_{LC} es el porcentaje de reducción de la PPNt respecto de la PPNo consecuencia de los cambios en el uso del suelo.

De todas maneras, y como cabía esperar, las diferencias en la AHPPN son también importantes por regiones. Pero, a diferencia de Imhoff *et al.* (2004), las cifras de AHPPN territorializadas sí que informan sobre la apropiación realizada en cada región. Y esta va, desde el 63% en el caso del sur de Asia, al 52% en el este y sureste de Europa, o el 40% en Europa occidental. No obstante estas cifras hay que complementarlas con el impacto que los usos del suelo han provocado en la reducción de la productividad. Así, mientras en el caso de Europa occidental el porcentaje de AHPPN coincide con altos rendimientos agrícolas y por ello la reducción respecto a la productividad potencial es sólo del 7%, el sur y este de Europa presenta una mayor AHPPN con una estrategia más extensiva de ocupación del territorio (Haberl *et al.*, 2007). Aunque esto pueda dar la impresión de que globalmente existen amplias posibilidades para expandir una agricultura intensiva, conviene tener en cuenta las exigencias energéticas, hídricas y de contaminación difusa que esta estrategia provocaría sobre los ecosistemas. Lo que, de paso, debería ponernos también sobre aviso frente a los proyectos de incrementar el recurso a la biomasa para usos energéticos (biocombustibles, agrocarburos) por su considerable aumento de la AHPPN y de la grave presión adicional sobre los ecosistemas (Haberl *et al.*, 2007; Carpintero, 2006b). Pues no hay que olvidar que, esto se sumaría a un proceso de rápido crecimiento de la AHPPN consecuencia de la pavimentación del suelo con cargo a infraestructuras o crecimientos urbanos. De hecho, en algunos países como Estados Unidos esto ha supuesto una pérdida de PPN equivalente al requerimiento energético alimenticio anual de 16,5 millones de personas, es decir, el 6% de la población de dicho país (Imhoff *et al.*, 2004b).

Por otro lado, si nos fijamos en la biomasa cosechada y realmente utilizada (12,1 Pg de m.s.), las cifras dicen también mucho sobre la gran ineficiencia con que funciona el metabolismo económico "endosomático" a escala planetaria: apenas el 12% de esa cantidad sirve directamente para la alimentación humana, mientras que el 58% se destina a alimentación para ganado, el 20% como materias primas y el 10% restante como combustible (Krausmann *et al.*, en prensa). Esto de manera global, pero el rango de variación de utilización de biomasa *per capita* y territorialmente se encuentra en razón de 1 a 10: de las 0,3 tm/ha/año del norte de África y el Asia occidental, a las 2,7 de Europa occidental; o de 1 tm/cap/año norte de África y el Asia occidental, a las 11,7 de Oceanía (Krausmann *et al.*, en prensa). Sin embargo, a pesar de estas variaciones, ambas resultan inferiores a las diferencias territoriales en consumos de combustibles fósiles *per capita* (factor de 20), o de minerales industriales (factor de 70). Y, a diferencia de los dos últimos, que están muy afectados por el nivel de renta relativo, las diferencias en el uso de la biomasa por regiones no responden mucho a las diferencias de renta (países ricos frente a países pobres), y sí lo hacen más a factores históricos y culturales relacionados con el suelo, la densidad de población, o la pauta alimentaria. En este sentido, la ingesta y cría de ganado, que utiliza entre el 30% y el 75% de la biomasa cosechada, influye considerablemente en el consumo a escala regional. Lo que también pone sobre el tapete la importante relación entre el modelo alimentario y el impacto ecológico de la dieta (Goodland, 1997; Carpintero, 2005).

Conclusión

Parece claro que, con estas cifras y argumentos, los problemas relacionados con la sostenibilidad tienen mucho que ver con la dinámica del metabolismo económico puesta en práctica por las economías industriales, y con las presiones que la estrategia “colonizadora” humana está imponiendo sobre la PPN a escala planetaria. El ritmo de utilización de recursos agotables nos abocará, más pronto que tarde, a problemas de escasez creciente por el lado de los *inputs*, pero también a inconvenientes graves por el lado del *output*. Reflejar con sensatez estos hechos es, obviamente, el primer paso para modificarlos.

Agradecimientos

Este artículo se ha elaborado en el marco del proyecto SEJ-15219/ECON sobre 'Metabolismo social: conflictos y tendencias', del Ministerio de Educación y Ciencia, cuya financiación se agradece.

Notas

(1) No se abundará aquí, sin embargo, en la descripción de antiguos precedentes de finales del siglo XIX y principios del XX como P. Geddes, S. Podolinsky, J. Popper-Lynkeus, o F. Soddy (Martínez Alier 1991, 1995) con quienes enlazarán décadas más tarde las preocupaciones de científicos y economistas como Abel Wolman, Kenneth Boulding, Georgescu-Roegen, Herman Daly, o R.U. Ayres (Fischer-Kowlaski y Hütler, 1999; Carpintero, 2005). [Volver](#)

(2) La consideración de este tipo de sociedad es más relevante históricamente de lo que pueda parecer. Sobre todo si pensamos que más del 90% del tiempo que la especie humana ha pasado sobre este planeta ha vivido en esta clase de civilización (Fischer-Kowalski y Haberl, 1994). [Volver](#)

(3) Pero el cuadro no es todavía completo, pues, en el caso de las sociedades industriales, las cifras anteriores sólo incorporan, en general, los flujos físicos que han recibido valoración monetaria. Si, además de estos flujos *directos*, se contabilizan también los flujos *ocultos*, esto es, el conjunto de materiales renovables y no renovables que, a pesar de no recibir valoración monetaria, es preciso remover o extraer para acceder a los recursos u obtener la biomasa final (estériles mineros, restos de cultivos, erosión, etc.), el tonelaje supera ampliamente la cifras anteriores. Así, para Estados Unidos, estaríamos hablando de unos Requerimientos Totales de Materiales (RTM) de 84 tm/hab, para Alemania de 76 tm/hab, para Holanda de 67 tm/hab, o, en el caso de Japón, de 45 tm/hab (Adriaanse *et al.*, 1997). España, presentaba en 2000 una cifra de 37 tm/hab (Carpintero, 2005). No mejora tampoco el cuadro general cuando vemos que, si los más de 6.000 millones de habitantes que pueblan la tierra decidiesen utilizar la cifra media de RTM de los cuatro primeros países (67 tm/hab) para alimentar su modo de producción y consumo serían necesarios 400 mil millones de toneladas al año. *En el caso de que este volumen fuera transportado por ferrocarril, el tren resultante tendría una extensión que daría 3.250 vueltas a la Tierra* (Brigenzu, 1997). [Volver](#)

(4) El estudio de Vitousek *et al.* (1986) se centraba sobre todo en la PPN *terrestre* habida cuenta que la apropiación de PPN en ecosistemas acuáticos poco productivos —medida a partir de producción primaria necesaria para alimentar a las capturas de pesca realizadas— arrojaba cifras poco significativas a escala global (apenas el 2% de la PPN de ecosistemas acuáticos). Sin embargo, a comienzos de los ochenta, algunos trabajos llamaron la atención sobre la actividad fotosintética de organismos marinos inferiores en tamaño a una micra —presentes sobre todo en ecosistemas tropicales del océano Pacífico— y que eran los responsables de la producción de entre el 25% y el 90% de la biomasa, y entre el 20% y el 80% de la fijación de carbono. Esto, de hecho, los convertía en verdaderas células autótrofas, y no meramente en fragmentos de otras células (Li *et al.*, 1983). Pauly y Christensen (1995) tomaron nota y, junto a otras mejoras, corrigieron la estimación de la PPN acuática y elevaron la AHPPN en este medio hasta el 8% entre 1988-1991, esto es, cuatro veces más que la estimación de Vitousek *et al.* (1986). [Volver](#)

(5) Por su parte, la PPN a escala planetaria fue estimada como una media combinando datos de clima e índices de vegetación para el período 1982-1998 a partir de observaciones de satélite. El resultado fue 56,8 Pg C/año (119,6 Pg/año de materia orgánica) —lo que se encontraba en línea con otros cálculos previos— de la que, en una estimación intermedia, el 20,3% era considerado AHPPN. Esta cifra, aparte de no incorporar la PPN perdida como consecuencia de los cambios en el uso del suelo, clareos, etc., escondía, no obstante, una heterogeneidad territorial muy notable. [Volver](#)

Referencias

Adriaanse, A., Bringenzeu, S., Hammond, A., Moriguchi, Y., Rodenburg, E., Rogich, D. y Schütz, H. 1997. *Resource flows: the material basis of industrial economies*, World Resources Institute, Wuppertal Institute, Netherland Ministry of Housing Spatial Planning and Environment, National Institute of Environmental Studies.

Alexandrov, G.A., Oikawa, T. y Esser, G. 1999. Estimating terrestrial NPP: what the data say and how they may be interpreted? *Ecological Modelling* 117: 361-369.

- Ayres, R.U. y Ayres, L.W. (eds.) 2002. *Handbook of Industrial Ecology*, Cheltenham, Edward Elgar.
- Ayres, R.U. 1989. Metabolismo industrial y cambio mundial. *Revista Internacional de Ciencias Sociales* 121: 391-402.
- Ayres, R.U. y Simonis, U. (eds.) 1994. *Industrial Metabolism: restructuring for sustainable development*, United Nations University Press.
- Azar, , Holmberg, J. y Lindgren, K. 1996. Socio-economic Indicators for Sustainability. *Ecological Economics* 18: 89-112.
- Bringezu, S. 1997. Comparison of the Material Basis of Industrial Economies, en: Bringezu, S., M. Fischer-Kowalski, R. Klejin, V. Palm. Eds. 1997. *Analysis for Action: Support for Policy towards Sustainability by Material Flow Accounting*, Wuppertal Special 6: 57-66.
- Cardoch, L., Day, J.W. y Ibañez, C. 2002. Net Primary Productivity as an Indicator of Sustainability in the Ebro and Mississippi Deltas. *Ecological Applications* 12 (4): 1044-1055.
- Carpintero, O. 2005. *El metabolismo de la economía española: Recursos naturales y huella ecológica (1955-2000)*, Lanzarote, Fundación César Manrique.
- Carpintero, O. 2006a. *La bioeconomía de Georgescu-Roegen*. Montesinos, Barcelona.
- Carpintero, O. 2006b. Biocombustibles y uso energético de la biomasa: un análisis crítico. *El Ecologista* 49.
- Cramer, W., Kicklighter, D.W., Bondeau, A., Moore III, B., Churkina, G., Nemry, B., Ruimy, A. y Schloss, A.L., 1999. Comparing global models of terrestrial net primary productivity (NPP): overview and key results. *Global Change Biology* 5: 1-15.
- Daly, H.E., (1999): *Ecological Economics and the Ecology of Economics*, Cheltenham, Edward Elgar.
- Daly, H.E., 1996: "De la economía del mundo lleno a la economía del mundo vacío", en: Goodland, R. et al., eds. *Medio ambiente y desarrollo sostenible*. Trotta, Madrid. Pp. 37-50.
- Day, J., Martín, J.F., Cardoch, L. y Templet, P.H. 1997. System functioning as a basis for sustainable management of deltaic ecosystems. *Coastal Management* 25: 115-153.
- Douglas, I. y Lawson, N. 1998. Problems associated with establishing reliable estimates of materials flows linked to extractive industries. En: R. Klejin et al., eds. *Ecologizing Societal Metabolism*. Third ConAccount Meeting, CML, report 148: 127-134.
- Douglas, J. y Lawson, N. 2002. Material Flows due to mining and urbanization. En: R.U. Ayres y L.W. Ayres, eds. *Handbook of Industrial Ecology*, pp. 351-364. Cheltenham, Edward Elgar.
- Esser, G., Lieth, H., Scurlock, J.M. y Olson, R.J. 1997. Worldwide estimates of Net Primary Productivity derived from pre-1982 publications. ORNL/EOSDIS.
- Field, C.B. 2001. Sharing the Garden. *Science* 294: 2490-2491.
- Fischer-Kowalski, M. y Haberl, H. 1993. Metabolism and Colonisation: Modes of Production and the Physical Exchange between Societies and Nature, *IFF- Schriftenreihe Soziales Ökologie*, Band, 32.
- Fischer-Kowalski, M. y Haberl, H. 1994. On the Cultural Evolution of Social Metabolism with Nature, *IFF-Schriftenreihe*, Band 40.
- Fischer-Kowalski, M. y Haberl, H. 1997. Tons, Joules and Money: Modes of Production and the Sustainability Problems. *Society and Natural Resources* 10: 61-85.
- Fischer-Kowalski, M. y Hüttler, W. 1999. Society's Metabolism. The Intellectual History of Material Flow Analysis, Part II, 1970-1998. *Journal of Industrial Ecology* 2: 107-136.
- Georgescu-Roegen, N. 1971. *The Entropy Law and the Economic Process*. Harvard University Press (existe versión española : La

ley de la entropía y el proceso económico, Madrid, Visor-Fundación Argentaria.)

Georgescu-Roegen, N. 2007. *Ensayos bioeconómicos*. Edición de Óscar Carpintero, Madrid, Los Libros de la Catarata.

Goodland, R. 1997. Environmental sustainability in agriculture: diet matters. *Ecological Economics*. 23: 189-200

Haberl, H. 1995. Menschliche Eingriffe in den natürlichen Energiefluss von Ökosystemen, *IFF Schriftenreihe Soziale Ökologie*, Band 43.

Haberl, H. 1997. Human appropriation of net primary production as an environmental indicator: Implications for sustainable development. *Ambio* 26: 143-146.

Haberl, H. 2002a. The energetic Metabolism of Societies. Part II: Empirical Examples. *Journal of Industrial Ecology* 5: 71-88.

Haberl, K., Krausmann, F. y Schulz, N.B. 2002b. Human Appropriation of Net Primary Production. *Science* 296: 1968.

Haberl, H., Erb, K.H., Krausmann, F., Gaube, V., Bondeau, A., Plutzer, C., Gingrich, S., Lucht, W. y Fischer-Kowalski, M. 2007. Quantifying and mapping the human appropriation of net primary production in earth's terrestrial ecosystems. *Proceedings of the National Academy of Sciences* (www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.0704243104).

Hooke, R. 1994. On the efficacy of humans as geomorphic agents. *GSA Today* 4: 223-225.

Imhoff, M.L., Bounaua, L., Ricketts, T., Loucks, C., Harriss, R. y Lawrence, W.T., 2004a. Global patterns in human consumption of net primary production. *Nature* 429: 870-873.

Imhoff, M.L., Bounaua, L., DeFries, R., Lawrence, W.T., Stutzer, D., Tucker, C.J. y Ricketts, T. 2004b. The consequences of urban land transformation on net primary productivity in the *Remote Sensing of Environment* 89: 434-443.

Imhoff, M.L. y Bounaua, L. 2006. Exploring global patterns of net primary production carbon supply and demand using satellite observations and statistical data. *Journal of Geophysical Research* 111: 1-8.

Krausmann, F. 1999. Terrestrial Ecosystems and Industrial Transformation: Long Term Dynamics of Social Biomass-Metabolism, Land Use and Human Appropriation of Net Primary Production in 1830-1995. En: "Nature Society and History", *Third Con Account Meeting*, Viena.

Krausmann, F. 2001. Land use and industrial modernization: an empirical analysis of human influence on the functioning of ecosystems in 1830-1995. *Land Use Policy* 18: 17-26.

Krausmann, F., Erb, K.H., Gingrich, S., Lauk, C. y Haberl, H. (en prensa). Global patterns of socioeconomic biomass flows in the year 2000: A comprehensive assessment of supply, consumption and constraints. *Ecological Economics*.

Krausmann, F., Haberl, H., Schulz, N.B., Erb, K.H., Darge, E. y Gaube, V. 2001: Land-Use change and socio-economic metabolisms in —Part I: driving forces and land-use change: 1950-1995. *Land Use Policy* 20: 1-20.

Lieth, H. y Whittaker, R.K. (eds.). 1975. *Primary Productivity of the Biosphere*, New York, Springer Verlag.

Martínez Alier, J. (ed.). 1995. *Los principios de la economía ecológica*. Textos de P. Geddes, S.A. Podolinsky y F. Soddy, Madrid, Fundación Argentaria-Visor Distribuciones.

Martínez Alier, J. y Roca, J. 2000. *Economía ecológica y política ambiental*, México, FCE.

Martínez Alier, J. y Schlüpmann, K. 1991. *La economía y la ecología*, México, FCE.

Matthews, E., Aman, C., Bringezu, S., Hütler, Wklejin, R., Moriguchi, Y., Ottke, C., Rodenburg, E., Rogich, D., Schandl, H., Schütz, H., Van der Voet, E. y Weisz, H. 2000. *The Weight of Nations. Material Outflows from Industrial Economies*, Washington, World Resources Institute.

Naredo, J. M. 1987. *La economía en evolución*, Madrid, Siglo XXI (2 ed. 1996, 3ª edición, 2003).

- Naredo, J. M. y Valero, A. (dirs.). 1999. *Desarrollo económico y deterioro ecológico*, Madrid, Fundación Argentaria-Visor Distribuidores.
- O'Neill, R.V. y Kahn, J.R. 2000. Homo economus as a keystone species. *Bioscience* 50: 333-337.
- Pauly, D. y Christensen, V. 1995. Primary production required to sustain global fisheries. *Nature* 374: 255-257.
- Rojstaczer, S., Sterling, S.M. y Moore, N.J. 2001. Human Appropriation of Photosynthesis Products. *Science* 294: 2549-2551.
- Romano, D. 1999. Cuantificación de la fotosíntesis intervenida por los sistemas agrarios y pesqueros. En: Naredo, J. M., Valero, A. dirs. 1999. *Desarrollo económico y deterioro ecológico*, Madrid, Fundación Argentaria-Visor Distribuidores: 79-101.
- Romano, D. 2003. Recursos basados en la fotosíntesis. En: J. Nieto y J. Riechmann, coords. *Sustentabilidad y globalización: Flujos monetarios de energía y de materiales*, Valencia, Alemania.
- Vitousek, P., Ehrlich, P., Ehrlich, A.H. y Matson, P.A. 1986. Human appropriation of the product of photosynthesis. *Bioscience* 34: 368-373.
- Wackernagel, M. y Rees, W. 1996. *Our Ecological Footprint*, Philadelphia, Gabriola Island, BC.
- WWF. 2000. *Living Planet Report 2000*.