



**APORTES PARA UNA
ESTRATEGIA AMBIENTAL
ALTERNATIVA:
INDICADORES DE SUSTENTABILIDAD
Y POLÍTICAS AMBIENTALES**

Compilado por:
Montserrat Albán, Joan Martínez-Alier,
Cristina Vallejo



**NOTAS PARA LA DISCUSIÓN
ESTRATEGIA NACIONAL
DE DESARROLLO HUMANO
APORTES PARA UNA
ESTRATEGIA AMBIENTAL
ALTERNATIVA:
Indicadores de sustentabilidad y
políticas ambientales**

La presente publicación ha sido auspiciada por el Gobierno Nacional, a través de la Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo (SENPLADES), con el apoyo del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) y el Centro de Investigaciones Sociales del Milenio (CISMIL).

El Centro de Investigaciones Sociales del Milenio –CISMIL, está integrado por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), la Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales, FLACSO Sede Ecuador; y la Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo (SENPLADES).

Fander Falconí,
Secretario Nacional de Planificación y
Desarrollo

José Manuel Hermida,
Representante Residente del PNUD, y
Coordinador Residente del Sistema de
Naciones Unidas en el Ecuador

Adrián Bonilla,
Director Facultad Latinoamericana de Ciencias
Sociales – Sede Ecuador

Compiladores de este número:

Montserrat Albán, Joan Martínez-Alier,
Cristina Vallejo

Asesor principal:

Juan Ponce

Equipo del CISMIL

Especialistas:

Montserrat Albán, Jorge Granda,
María del Pilar Troya.

Asistentes de Investigación

Luis Chuquimarca, Diana Hidalgo,
Mercedes Onofá, José Antonio Sánchez

Equipo ODM – Proyecto PNUD:

Natalia García – Oficial de Programa

Irina Moreno – Comunicación

Carolina Bastidas – Asistente Administrativa

Corrección de estilo:

Grace Sigüenza

Concepto editorial: graphus

Diseño: graphus® 290 2760

Ilustración: María Belén Guerrero

Impresión: Editorial Delta



contenido

Presentación 5
Fander Falconí B.

Introducción 10
Montserrat Albán



Artículo 1
Una lectura desde la economía ecológica a los problemas ambientales del Ecuador: propuesta para la agenda ambiental 2022
Montserrat Albán - Joan Martínez-Alier 13



Artículo 2
Estructura biofísica de la economía ecuatoriana: un estudio de los flujos directos de materiales
María Cristina Vallejo G. 69



Artículo 3
Comercio internacional y medio ambiente en Colombia
Mario Alejandro Pérez Rincón 103



Artículo 4

El agua virtual y el metabolismo hídrico: un instrumento para gestionar los recursos hídricos

133

Esther Velázquez



Artículo 5

La Apropiación Humana de la Producción Primaria Neta mundial (AHPPN)

151

Helmut Haberl, Karl-Heinz Erb y Fridolin Krausmann



Artículo 6

Las posibles consecuencias del aumento de la demanda internacional de agrocarburos: ¿cómo estructurar un análisis para América Latina?

173

Daniela Russi



Artículo 7

Del metabolismo social a los conflictos ecológicos

193

Joan Martínez-Alier



Artículo 8

El desarrollo sustentable y OPEP

209

Herman Daly



Artículo 9

una economía pospetrolera

225

Joan Martínez-Alier



Artículo 10

La geopiratería como un tema emergente en el marco de los derechos de propiedad intelectual: por qué los estados pequeños deben asumir el liderazgo

231

Joseph Henry Vogel, Janny Robles, Camilo Gomides y Carlos Muñiz



Artículo 11

El proyecto geopiratería: el caso del Ecuador™

249

Joseph Henry Vogel, Janny Robles, Camilo Gomides y Carlos Muñiz

Artículo 5

LA APROPIACIÓN HUMANA DE LA PRODUCCIÓN PRIMARIA NETA MUNDIAL (AHPPN)*

Helmut Haberl, Karl-Heinz Erb y Fridolin Krausmann¹

INTRODUCCIÓN

El impacto de la humanidad en las estructuras de la biosfera (por ejemplo, en la cobertura vegetal) y en su funcionamiento (por ejemplo, en los ciclos biogeoquímicos) es considerable y en muchos casos llega a exceder la variabilidad natural (Crutzen y Steffen, 2003). Sanderson y otros autores identifican hasta el 83% de la biosfera terrestre global como zona bajo influencia directa de los seres humanos. Estos autores llegan a esta conclusión utilizando como base variables geográficas, *proxies*, tales como: densidad poblacional, colonización, carreteras, agricultura, y similares. Otro estudio estima que alrededor del 36% de la superficie terrestre bioproductiva está “totalmente dominada por el ser humano” (Hannah *et al.*, 1994).

La Apropiación Humana de la Producción Primaria Neta (AHPPN o HANPP por sus siglas en inglés) es un indicador agregado que refleja tanto la cantidad de espacio utilizado por los seres humanos como la intensidad del uso de la tierra. La Producción Primaria Neta (PPN) es la cantidad neta de biomasa producida por las plantas cada año; es un indicador importante de los flujos de energía trófica en los ecosistemas. La AHPPN permite estimar en qué medida el cambio del uso del suelo y la cosecha de biomasa alteran la disponibilidad de la PPN (biomasa) en los ecosistemas. Se trata de una medida fundamental de la “escala” de las actividades

* Este artículo fue publicado en la Enciclopedia de Internet de Economía Ecológica, en marzo de 2007. Helmut Haberl, Karl-Heinz Erb and Fridolin Krausmann (Lead Authors); Mark McGinley (Topic Editor), 2008. “Global human appropriation of net primary production (HANPP)”, in Encyclopedia of Earth, Eds. Cutler J. Cleveland (Washington D.C., Environmental Information Coalition, National Council for Science and the Environment). [First published in the Encyclopedia of Earth, March 14, 2008; Last revised March 19, 2008; Retrieved April 8, 2008]. En: [http://www.eoearth.org/article/Global_human_appropriation_of_net_primary_production_\(HANPP\)](http://www.eoearth.org/article/Global_human_appropriation_of_net_primary_production_(HANPP))
Traducido al español por José Antonio Sánchez, CISMIL.

¹ Instituto de Ecología Social, Klagenfurt University, Vienna, Austria (<http://www.iff.ac.at/socec>). Correo electrónico: helmut.haberl@uni-klu.ec.et.



humanas en comparación con los procesos naturales (es decir, del “tamaño físico de la economía en relación a los ecosistemas que la contienen”. Daly, 2006). Puesto que la cosecha humana de biomasa es un componente importante de la AHPPN, también está estrechamente relacionado con el metabolismo socioeconómico (Ayres y Simonis, 1994; Fisher-Kowalski y Haberl, 1997) como se mide a través de las cuentas de flujos de materiales (Hinterberger et al., 2003; Weisz et al., 2006).

La pregunta fundamental sobre la proporción de los flujos anuales de biomasa de la biosfera que utilizan los seres humanos fue planteada originalmente en los años setenta (Whittaker y Likens, 1973), y tomó más de una década para que la primera respuesta comprensiva –y relevante– se haya dado (Vitousek et al., 1986). Este documento empieza con una descripción de la investigación que se derivó de estas reflexiones y luego se discuten aspectos referentes a la definición, se presentan algunos aspectos básicos sobre la metodología y una perspectiva panorámica de los conocimientos actuales sobre la AHPPN mundial. Finalmente, se presenta la interpretación y nuevas necesidades de investigación.

DEFINICIÓN DE LA AHPPN

Al igual que cualquier otro concepto científico, la AHPPN tiene que ser rigurosamente definida, considerando que diferentes definiciones pueden dar lugar a resultados empíricos sustancialmente distintos (Haberl et al., 2007). Varios autores han desarrollado aproximaciones de AHPPN desde diferentes ópticas y, en consecuencia, han utilizado una variedad de definiciones. Lamentablemente, esta falta de uniformidad ha dado lugar a un rango de resultados empíricos (discutido más adelante), lo que crea la impresión de que resulta muy difícil, o incluso imposible, evaluar la AHPPN con suficiente precisión. Esto obstaculiza la comparabilidad de los resultados y alimenta las críticas que podrían poner en peligro la credibilidad de todo el concepto (Davidson, 2000; Rojstaczer et al., 2001). Esta sección ofrece una visión general de las diferentes definiciones utilizadas hasta el momento. La armonización de las definiciones de la AHPPN parece, por tanto, muy importante.

Vitousek et al. (1986) calcularon la AHPPN usando tres definiciones diferentes, cada una de las cuales es una medida de un proceso o patrón diferente. En primer lugar, solo evaluaron la biomasa

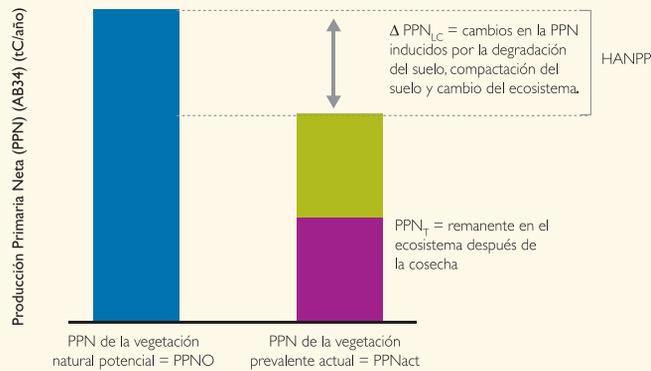
directamente utilizada por la sociedad (alimentos, madera, etc.). En segundo lugar, añadieron la producción primaria neta (PPN) de los ecosistemas dominados por el ser humano (por ejemplo, tierras de cultivo). En tercer lugar, consideraron las pérdidas de PPN debido a los cambios inducidos por el ser humano en la productividad del ecosistema, es decir, su degradación.

Wright (1990) propuso definir la AHPPN como la diferencia en la PPN disponible en ecosistemas hipotéticamente poco alterados y la cantidad de PPN realmente disponible para apoyar las cadenas alimentarias heterotróficas. Se excluyen las actividades tales como la tala y la quema de biomasa en los bosques, sobre la base de que no resulten en una reducción de la productividad de la tierra a largo plazo para las especies silvestres si se permite recuperar los bosques (Wright, 1990). Existe amplia evidencia, sin embargo, de que la cosecha y la quema de biomasa son muy importantes para la ecología forestal (Harmon et al., 1986; Harmon et al., 1990). La PPN consigna la madera en los bosques a través de procesos relacionados con la cosecha y, por lo tanto, debe ser incluida en cualquier definición de AHPPN.

Un estudio posterior al de la AHPPN mundial (Rojstaczer et al., 2001) se centró en la incertidumbre, y al hacerlo solo se considera la segunda definición de Vitousek. Un estudio reciente (Imhoff et al., 2004) calculó a nivel mundial el consumo humano de la PPN, algo muy diferente al concepto original de Vitousek, pero las cifras resultantes figuran también como AHPPN. "La definición utilizada en este último documento estuvo entre las dos primeras definiciones de Vitousek: no se incluye el total de la PPN de ecosistemas dominados por el hombre, pero se consideraron partes de plantas cosechadas no recientemente si éstas fueron requeridas para producir el producto de la cosecha (por ejemplo, raíces). Ni Rojstaczer et al. (2001) ni Imhoff et al. (2004) consideraron cambios en la PPN causados por el uso pasado o presente de la tierra.



FIGURA I.
DEFINICIÓN DE AHPPN PROPUESTA POR LOS AUTORES



Fuente:
FAO STAT y
Vallejo (2006).

Haberl, *et al.* (1997) propuso una definición de AHPPN que ha demostrado su utilidad en un espacio geográfico específico (Haberl *et al.*, 2001a), así como (Kausmann, 2001) estudios a largo plazo en una escala nacional. Esta definición (figura 1) está relacionada con la sugerencia de Wright (1990) y define la AHPPN como la diferencia entre el monto de la PPN que estaría disponible en un ecosistema en ausencia de las actividades humanas (PPN_0) y el monto de la PPN que en realidad permanece en el ecosistema, o en el ecosistema que la reemplazó bajo prácticas actuales de gestión (PPN_t). La PPN_t puede calcularse por medio de la cuantificación de la PPN de la vegetación actual (PPN_{act}) restando el monto de la PPN cosechada por los humanos (PPN_h). La AHPPN se define como $PPN_0 - PPN_t$ con $PPN_t = PPN_{act} - PPN_h$. Si se denota como $\emptyset PPN_{LC}$ la diferencia entre PPN_0 y PPN_{act} , la AHPPN se vuelve igual a $PPN_h + \emptyset PPN_{LC}$.

Esta definición tiene las siguientes ventajas: 1. Evita ser demasiado inclusiva. Hasta en sistemas fuertemente impactados por el ser humano tales como los pastizales, bosques administrados o incluso tierras de cultivo, algunas de las PPN son utilizadas por los organismos silvestres no controlados o utilizados por los humanos,

manteniendo, en algunos casos, una muy alta biodiversidad. 2. Es robusto en cálculos de series de tiempo. A veces el uso de la tierra reduce la PPN, incluso la impide por completo (por ejemplo, compactación de suelos), pero tecnologías como el riego, la fertilización o la utilización de cultivos mejorados también pueden aumentar la PPN sobre su potencial natural. Tales efectos son significativos e históricamente variables, y, por lo tanto, deben ser incluidos en cualquier evaluación de la AHPPN. Por ejemplo, cambios en la tecnología agrícola en Austria, incrementaron la productividad de la superficie de las tierras agrícolas en un factor de 2,6 desde 1830 hasta 1995 (Krausmann, 2001).

Sin embargo, algunos problemas persisten. Por ejemplo, ¿cómo debería tratarse la cosecha de madera? La madera se acumula en un bosque durante muchos años, por lo que la cosecha es el producto de la PPN acumulada a lo largo de un período más largo que un año. Esto puede dar lugar a valores negativos de PPN_t , incluso si promediamos en grandes regiones, si prevalecen prácticas de manejo forestal que agotan reservas. ¿Cómo se deben tratar los residuos de los cultivos que en realidad no son cosechados, pero sí arados en el suelo después de la cosecha? En nuestros estudios sobre Austria fueron incluidos como "asignados", ya que ellos se centraron en el segmento sobre la superficie, y la biomasa está claramente alejada de ese segmento. Otras definiciones pueden ser más útiles en diferentes circunstancias. La biomasa que regresa al ecosistema (por ejemplo, estiércol excretado por los animales que pastan) también podría incluirse en una definición de AHPPN. Algunos autores han optado por agregar también la biomasa muerta durante la cosecha (por ejemplo, raíces) en sus definiciones de la AHPPN (O'Neill *et al.*, 2006, véase también Imhoff *et al.*, 2004). Una última debilidad es que en algunos ecosistemas el concepto de una PPN natural en la ausencia de la actividad humana puede ser cuestionable; la PPN puede variar en la escala temporal de una década, y sufrir la influencia de las variaciones del clima, pastoreo y condición de los nutrientes. La influencia humana (por ejemplo, la quema periódica de praderas) también puede remontarse miles de años atrás.

En cualquier caso, es importante que estudios de la AHPPN sean explícitos en sus definiciones, detallando si incluyen o no los flujos de biomasa en la definición de la cosecha utilizada. Argumentamos que un requisito mínimo para cualquier indicador que se denominará AHPPN es que: 1. Se refiere a una zona determinada de tierra, no a la biomasa o a la PPN consumida por una población



ALGUNOS CONCEPTOS METODOLÓGICOS BÁSICOS DE LA AHPPN

determinada. 2. Comprende una evaluación del \emptyset PPN_{LC} y la PPN_h . 3. Evita ser demasiado inclusiva, en tanto que no se limita solo a la biomasa utilizada directamente por los seres humanos.

Con el fin de estar en condiciones de calcular la AHPPN, es necesario evaluar tres propiedades: 1. La PPN_0 , es decir, la PPN de la vegetación que se supone que prevalece en la ausencia del uso de la tierra de los humanos (potencial de vegetación; Tüxen, 1956). 2. La PPN_{act} , es decir, la PPN de la vegetación actual. 3. La PPN_h , es decir, la PPN de la cosecha de los humanos. Diferentes métodos están disponibles para la estimación de dichas propiedades. Definir cuál es el más apropiado depende del alcance y la finalidad del estudio. Uno de los puntos principales de la AHPPN es que puede ser evaluada en una forma espacialmente explícita, es decir, es posible producir mapas de la AHPPN que localicen el impacto humano en los ecosistemas. En este caso, los tres parámetros antes mencionados deben calcularse en una forma espacialmente explícita, utilizando la tecnología de sistemas de información geográfica (SIG) (por ejemplo, Haberl y otros 2001a).

Los factores más influyentes en la PPN en la ausencia de las actividades humanas son el clima (sobre todo, la temperatura y las precipitaciones) y la calidad del suelo. Existen numerosos modelos, llamados Modelos Dinámicos de Vegetación Mundial (MDVM), que se pueden utilizar para calcular la PPN_0 a nivel mundial (Cramer *et al.*, 1999). Estos modelos son espacialmente explícitos y pueden ser utilizados en su mayoría con una resolución de $0,5^\circ$ (alrededor de 50×50 km en el Ecuador; por ejemplo, Sitch *et al.*, 2003). Modelos similares están disponibles y se pueden utilizar para escalas espaciales pequeñas. A partir de la literatura, un método alternativo es extrapolar valores típicos de la PPN por unidad de área y año (por ejemplo, Ajtay *et al.*, 1979; Cannell, 1982; Lieth y Whittaker, 1975) o utilizar modelos sencillos como el "Modelo de Miami" de Lieth que solo requiere datos sobre la media anual de temperatura y precipitaciones (Lieth, 1975). Mientras que la credibilidad de los dos últimos podría ser limitada, sería útil para la verificación de los resultados de los MDVM obtenidos con los datos de la bibliografía sobre la PPN de la vegetación potencial. Estudios espacialmente explícitos requieren una malla (SIG) de datos sobre la vegetación potencial, el suelo y el clima. Resultados creíbles requerirán la disponibilidad de un modelo adecuado de

ecosistemas capaz de estimar con fiabilidad la PPN con la resolución espacial necesaria para el estudio.

Existen varios métodos disponibles para evaluar la PPN de la vegetación remanente actual. En cualquier caso, es esencial la disponibilidad de datos fiables sobre el uso de la tierra y la cobertura vegetal; una evaluación espacial de la AHPPN que, evidentemente, solo es posible si se disponen de datos georeferenciados en una base SIG sobre el uso de la tierra y la cobertura vegetal.

Con el fin de hacer uso de los datos de estadísticas agrícolas y forestales, así como los inventarios de los bosques, las fuentes indispensables de cualquier cálculo de la AHPPN exigen que las áreas de tierras de cultivo en estas bases de datos sean consistentes con las áreas de tierras de cultivo registradas en estadísticas agrícolas específicas que deberían ser utilizadas; de la misma manera para la silvicultura. A menudo es un gran reto para estudios espacialmente explícitos de la AHPPN la disponibilidad de datos fiables que sean consistentes con fuentes estadísticas en las zonas urbanas, la vida silvestre y las tierras de pastoreo. Un set de información para el año 2000 a nivel global (con resolución 10×10 km al Ecuador) ha sido recientemente publicado por Erb *et al.*, y está disponible para usos futuros. Es importante resaltar que esta información puede ser utilizada a grandes escalas (continentales), y no puede ser aplicada en escalas pequeñas para estudios nacionales o subnacionales.

Para las tierras de cultivo, el método más fiable consiste en usar índices de cosecha (Evans, 1993; Loomis y Gerakis, 1975; Loomis, 1983; Wirsenius, 2003) que extrapola la PPN total del monto de cosecha de los cultivos de acuerdo con las estadísticas agrícolas (por ejemplo, la FAO, 2005a). Para bosques manejados, la mayoría de estudios de la AHPPN conducidos hasta ahora han utilizado el supuesto de que su PPN es igual a la de los bosques no manejados (por ejemplo, Haberl *et al.*, 2001a). Este supuesto puede ser cuestionable, como algunos autores han señalado, pues bosques manejados podrían incrementar grandemente la PPN, ya que estarían a favor las etapas productivas de sucesión forestal, pero otros autores han hecho exactamente lo contrario, argumentando que la silvicultura a menudo resulta en la degradación de ecosistemas boscosos. Para ver distintos criterios, ver O'Neill *et al.* (2006). Para las zonas con poco o ningún uso humano, el supuesto $PPN_0 = PPN_{act}$ es obviamente plausible. La tierra ya urbanizada se supone que carece de PPN ($PPN_{act} = 0$), sin embargo, vale señalar que



los datos sobre el suelo urbano por lo común incluyen las áreas cubiertas por vegetación como parques, jardines y la vegetación a lo largo de las carreteras. Estas áreas a menudo son irrigadas y muy productivas, situación que debe tenerse en cuenta.

Las tierras de pastoreo revisten el mayor desafío en el cálculo de PPN_{act} . En primer lugar, los datos sobre la superficie cubierta con diferentes tipos de pastoreo (praderas segadas con diferentes intensidades, pastos con diferentes intensidades de pastoreo, pastizales y otros ecosistemas de pastoreo) son en su mayoría de baja calidad y a menudo poco confiables, debido a su bajo valor económico y a las ambigüedades existentes en las definiciones (Geist y Lambin, 2006). En segundo lugar, el efecto del pastoreo y la siega en la productividad de las praderas y los ecosistemas de pastoreo, en general, tampoco son bien entendidos y documentados. Los estudios de caso muestran que el pastoreo puede mejorar (“crecimiento compensatorio”) o reducir la productividad (“degradación”), en función de su intensidad y una serie de otros factores, tales como las precipitaciones o la calidad de los suelos. Además, el efecto del desbroce de la tierra (eliminación de los bosques) de las pasturas o pastizales en la PPN es también documentado.

La estimación de la biomasa cosechada también puede ser menos evidente de lo que uno podría pensar. Los datos sobre cultivos y cosecha de madera suelen estar fácilmente disponibles en fuentes estadísticas (por ejemplo, FAO 2002, 2004, 2005a). Estas cifras dignas de confianza para cultivos, pero a menudo menos confiables para la cosecha en bosques, especialmente debido a la subnotificación de la tala ilegal en las zonas de subsistencia y la recolección de leña. Para los bosques es importante señalar que la extracción de madera en realidad no se toma de la PPN del año en curso, sino que se basa en un stock acumulado en las últimas décadas o incluso siglos. Esto puede en teoría resultar en valores negativos de la PPN_t si las fórmulas mencionadas se aplican, pero se puede evitar mediante el uso de los promedios de crecimiento de los bosques y la extracción de madera sobre grandes regiones. Un problema similar puede ocurrir en regiones con fuertes pérdidas netas de bosques.

La parte más difícil de cualquier medición de la PPN_h es la estimación de la PPN cosechada en tierras de pastoreo (es decir, la biomasa pastoreada por el ganado o el heno segado) debido a que estos flujos no son usualmente registrados en las estadísticas

agrícolas. Este flujo de biomasa puede ser estimado mediante el cálculo de la denominada “brecha de pastoreo”; esto es, la cantidad de forraje requerida para alimentar las existencias de rumiantes después de que el alimento para el mercado ha sido considerado. Un enfoque útil en este contexto es el uso de balances de alimentación del ganado basados en datos sobre el número de animales y la producción de ganado de las estadísticas agrícolas (por ejemplo, Wirsenius, 2000, 2003). El resultado de ese cálculo puede contrastarse con el cálculo de la productividad de las tierras de pastoreo, discutida antes.

Como los datos sobre la PPN del subsuelo son considerablemente más inciertos que los de la PPN superficial, muchos estudios de la AHPPN se limitan a cuantificar la PPN. En cualquier caso, parece muy conveniente tener en cuenta procesos separados para la superficie y para el subsuelo. Información más detallada sobre los métodos de la AHPPN se puede encontrar en la literatura (por ejemplo, Haberl et al., 2001a, Haberl, 2002).

AHPPN MUNDIAL UNA VISIÓN GENERAL

Los flujos de biomasa pueden ser expresados en términos de flujos de materia seca de biomasa (kg/año), en términos de energía (J/año, por lo general, expresado en Valor Calórico Bruto = Calefacción de Alto Valor) o en términos de los flujos de carbono (kg C/año). Con el fin de facilitar la comparación de los resultados globales analizados, a continuación convertiremos todos los resultados a Pg C/año (1 Pg = 10^{15} g = 10^9 t = 1 Gt = 1 billón de toneladas), mediante los siguientes factores de conversión: 1 kg de materia seca de biomasa = 0,5 kg C y 1 kg de materia seca de biomasa = 18,5 MJ.

Whittaker y Lieth (1973) divulgaron los resultados de su estudio, de acuerdo a los cuales, en la década de los años cincuenta los seres humanos cosecharon 1,6 Pg C/año de los ecosistemas terrestres tanto en alimentos como en madera, un flujo de biomasa que ascendió a solo el 3% de su estimación del total de la PPN terrestre mundial (54 Pg C/año). Este hallazgo (figura 3) difícilmente planteó preocupaciones, pero esta situación cambió rápidamente con la publicación del famoso estudio realizado por Vitousek y colegas (1986), quienes informaron los siguientes resultados:



“Estimamos que la materia orgánica equivalente a alrededor del 40% de la producción primaria neta presente en ecosistemas terrestres es utilizada por los seres humanos cada año. La gente usa este material directa o indirectamente, fluye a los diferentes consumidores o éste se pierde a causa de los cambios causados por el ser humano en el uso de la tierra. La gente y los organismos asociados utilizan este material orgánico en gran medida, pero no totalmente, y la gran mayoría de las otras especies debe subsistir en el remanente” (Vitousek *et al.*, 1986).

El estudio de Wright (1990) comprendió un recálculo del estudio de Vitousek y otros colegas que utilizaron fuentes de datos más recientes y una definición diferente (véase más arriba). Las diferencias en las definiciones son mucho mayores que las diferencias en el resultado en la utilización de los datos más recientes.

Un estudio probabilístico más reciente (Rojstaczer *et al.*, 2001) que adoptó la definición intermedia de Vitousek *et al.*, y basado en técnicas de Monte-Carlo reportó una alarmante incertidumbre del AHPPN mundial, conclusión que fue criticada por otros autores (por ejemplo, Field, 2001; Haberl *et al.*, 2002).

Utilizando de nuevo otra definición (descrita anteriormente), Imhoff *et al.* (2004) llegaron a una estimación del consumo mundial humano de la PPN de 14,7 Pg C/año o el 20% de la PPN terrestre.

Un reciente estudio de otros autores (Haberl *et al.*, 2006a; Erb *et al.*, 2005) basado en información espacial (georeferenciada) reportó un valor de la AHPPN mundial de 15,6 Pg C/año o 24% del total de la PPN terrestre.

Estos son los únicos datos disponibles a nivel mundial: 1. Compatibles con las definiciones de la AHPPN presentadas en la figura 1. 2. Basados en datos a nivel de país en el uso de la tierra, pastoreo, silvicultura, en zonas urbanas, y así sucesivamente. 3. Incluyen la biomasa consumida en los incendios inducidos por los seres humanos. 4. Están disponibles a una resolución de 5 min (10 x 10 km). Para el suelo superficial, este estudio reportó una considerablemente alta AHPPN de casi el 29%. Un nuevo cálculo de la AHPPN de acuerdo con la definición utilizada por Vitousek *et al.* (1986), que usó una base de datos disponible mucho más detallada, confirmó que las diferencias que resultan del uso de diferentes definiciones fueron más grandes que las diferencias resultantes de la incertidumbre en los datos.

FIGURA 2. DESCRIPCIÓN DE LAS ESTIMACIONES DE LA AHPPN MUNDIAL DADA POR DIFERENTES AUTORES

| Estudio | Referencia de tiempo | AHPPN absoluta * [Pg C/año] | AHPPN relativa * [%]** |
|-----------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|------------------------|
| Whittaker y Lieth (1973) | Años 1950 | 1,6 | 3% |
| Vitousek et al. (1986) baja | Años 1970 | 2,6 | 3% |
| Vitousek et al. (1986) intermedia | Años 1970 | 20,3 | 27% |
| Vitousek et al. (1986) alta | Años 1970 | 29,5 | 39% |
| Wright (1990) | Años 1970-1980 | 17,7 | 24% |
| Rojstaczer et al. (2001) | Años 1980-1990 Años 1990 | 19,5±14 | 32% (10-55%) |
| Imhoff et al. (2004) | 1995 | 11,5 (8,0-14,8) | 20% (14-26%) |
| Haberl et al. (2006a) | 2000 | 14,7 | 22% |

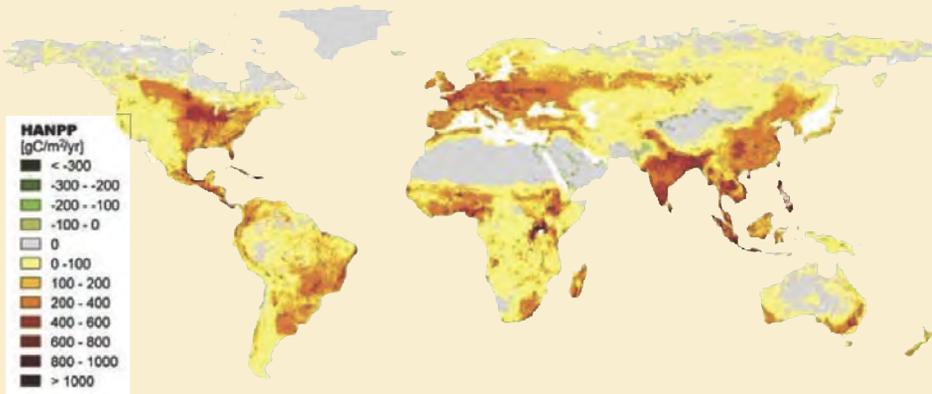
* Véase las diferencias en las definiciones utilizadas en cada estudio, discutidas en el texto.

** El porcentaje de la actual o potencial PPN. Nótese que las estimaciones de la PPN_{act} y de la PPN_0 también varían considerablemente; por ejemplo, el valor de la PPN_{act} de Whittaker y Lieth (54 Pg C/año) fue mucho menor que la estimación de Vitousek et al. (66 Pg C/año). La actual “mejor estimación” de la PPN_0 es de 66 Pg C/año y de la PPN_{act} 59 Pg C/año (Haberl et al., 2006a; Erb et al., 2005).

En la figura 3 se presenta un mapa mundial de la AHPPN. Este mapa demuestra grandes diferencias regionales en la cantidad de PPN apropiados por los humanos al año por unidad de área. Áreas con alta AHPPN incluyen zonas de baja densidad poblacional pero intensamente cultivadas, como la producción de maíz en Norteamérica, así como regiones densamente pobladas como grandes zonas de Europa, India, China y el Sudeste Asiático. La AHPPN puede ser negativa (ver el ejemplo del delta del río Nilo) en casos donde áreas estériles son irrigadas y utilizadas para agricultura, inclusive si en estos casos la mayoría de la PPN adicional (comparada con la PPN_0) es cultivada.



FIGURA 3. MAPA DEL AHPPN MUNDIAL EN EL AÑO 2000 EN UNIDADES ABSOLUTAS (gC/m²/año)



Fuente: Este y otros mapas de la AHPPN se hallan disponibles en el sitio web del Instituto de Ecología Social.

Es interesante observar los diferentes componentes del AHPPN mundial, particularmente en el uso mundial de biomasa cultivada (para más detalles, ver Krausmann et al.) En la figura 4 se presenta un análisis pormenorizado de los componentes mundiales del AHPPN y el flujo de biomasa mundial antropogénico. Estos datos sugieren que la conversión en el uso del suelo –por ejemplo, uso del suelo actual y pasado– disminuye la PPN en alrededor de 9,6% –por ejemplo en dos tercios de la cantidad de biomasa actualmente cultivada o destruida durante la cosecha (PPNH). Una considerable cantidad de la biomasa cultivada regresa al ecosistema, por ejemplo como estiércol de animales que pastan, raíces de cultivos, árboles que permanecen en el suelo o residuos agrícolas no utilizados.

La figura 5, además, sugiere que el uso de biomasa está asociado con los requerimientos “corriente arriba”. La biomasa que actualmente es extraída y entra al “procesamiento socioeconómico” (6,07 Pg C/año), posteriormente es procesada para derivar en productos con base en biomasa como comida, alimento para animales, fibra o energía, lo cual significa un poco más de un tercio de la AHPPN mundial (39%). Inclusive, las figuras presentadas en Krausmann et al., sugieren que, a escala mundial, el consumo final de una tonelada de biomasa requiere el cultivo de 3,6 toneladas de biomasa primaria y está asociada con un Δ PPN_{NLC} de 2,4 toneladas. Esto implica que, en el mundo, el promedio en todas las regiones de una tonelada en el uso de biomasa resulta en 6 toneladas de AHPPN, medidas como biomasa seca.

| FIGURA 4. COMPONENTES DEL AHPPN MUNDIAL Y LOS FLUJOS MUNDIALES DE BIOMASA QUE SON PROMOVIDOS POR EL SER HUMANO | | |
|---|---|--|
| | PPN/ flujo de biomasa [Pg C/año] | Porcentaje de PPN₀ [%] |
| Componentes del AHPPN | | |
| PPN de la vegetación terrestre potencial (PPN ₀) | 65,51 | 100,0 |
| PPN de la vegetación actual (PPN act) | 59,22 | 90,4 |
| PPN remanente en el ecosistema luego del cultivo (PPN t) | 49,90 | 76,2 |
| Cambio en PPN resultante del uso del suelo Δ PPNLC) | 6,29 | 9,6 |
| PPN cultivado o destruido (PPN h) | 9,31 | 14,2 |
| AHPPN (= Δ PPN LC plus PPN h) | 15,60 | 23,8 |
| Reflujo al ecosistema | 2,46 | 3,7 |
| Flujo de biomasa mundial de carácter antropogénico | | |
| Extracción de biomasa utilizada* | 6,07 | 9,3 |
| - de cultivos primarios cosechados | 1,72 | 2,6 |
| - de residuos de cultivos cosechados | 1,47 | 2,2 |
| - de biomasa en pastizales | 1,92 | 2,9 |
| - de extracción de madera | 0,97 | 1,5 |
| Extracción no utilizada* | 3,24 | 5,0 |
| - de fuego inducido por el ser humano | 1,21 | 1,8 |
| - de biomasa bajo el suelo no utilizada | 0,96 | 1,4 |
| - de residuos no utilizados en tierras cultivadas | 0,75 | 1,1 |
| - de tala de bosques | 0,33 | 0,5 |
| - Extracción utilizada y no utilizada PPNh. | | |

Fuente: Haberl et al. (2007) y Krausmann et al. (en prensa).

Los datos a nivel nacional sobre los flujos socioeconómicos de biomasa se encuentran disponibles en la página web del Instituto de Ecología Social. considerablemente; por ejemplo, el valor de la PPN_{act} de Whittaker y Lieth (54 Pg C/año) fue mucho menor que la estimación de Vitousek et al. (66 Pg C/año). La actual "mejor estimación" de la PPN₀ es de 66 Pg C/año y de la PPN_{act} 59 Pg C/año (Haberl et al., 2006a; Erb et al., 2005).



UNA PERSPECTIVA SOBRE EL SIGNIFICADO Y LA IMPORTANCIA DE LA AHPPN MUNDIAL

La AHPPN es útil como una medida física del tamaño de una economía con relación al ecosistema que la contiene (Daly, 2006). Demuestra que gran parte de la energía trófica que debería ser accesible para la vida de animales silvestres y otros organismos heterotróficos en la ausencia de actividades humanas está aún en su lugar. Como tal, es un indicador muy valioso de la “dominación humana de los ecosistemas” en una escala global (Vitousek *et al.*, 1997) y de la intensidad del desarrollo socioeconómico y “colonización de los ecosistemas” (Fischer-Kowalski y Haberl, 1997; Haberl *et al.*, 2004a).

Los estudios de la AHPPN mundial adquirieron importancia en la literatura sobre el desarrollo sostenible porque ésta ha sido a menudo interpretada como un indicador de límites ecológicos al crecimiento (Meadows *et al.*, 1992; Sagoff, 1995; Costanza *et al.*, 1998). Este criterio ha perdido crédito porque: a) el crecimiento económico puede proceder incluso sin uso creciente de biomasa (Haberl *et al.*, 2006b); y, b) estudios a largo plazo de la AHPPN han demostrado que ésta pueden disminuir durante la industrialización si la biomasa cosechada crece debido a la intensificación de la agricultura y no por una extensión de los cultivos (Davidson, 2000; Haberl *et al.*, 2001a; Krausmann, 2001).

Una implicación evidente de la AHPPN es que el crecimiento en la cantidad de biomasa utilizada por los seres humanos para su metabolismo socioeconómico debe ser analizado con cautela. Las advertencias son garantizadas si se establecen políticas destinadas a promover el uso de la biomasa y otra materia prima como fuente de energía (Allgeier *et al.*, 1995; Comisión Europea, 1997; Sampaio-Nunes, 1995). La biomasa ya desempeña un papel importante en la oferta mundial de energía, actualmente entre 9 y 13%, que es 35-55 EJ/año ($1 \text{ EJ} = 10^8 \text{ Joule}$), de la oferta mundial de energía (véase figura 5). Esta cifra, sin embargo, subestima la importancia de la biomasa para el “metabolismo energético” de la humanidad (Haberl, 2001a; Haberl, 2001b). La cosecha mundial humana de biomasa, incluidos los cultivos, subproductos, pastoreo de ganado, consumo de fibra y de productos de bosques, ascendió a aproximadamente 235 EJ/año en torno a 1993. Este valor incluye una estimación de la biomasa utilizada en las economías de subsistencia para el suministro de energía (Hall *et al.*, 1993a; Scurlock y Hall, 1990), cuyo paradero se desconoce en datos estadísticos como los de la FAO (2002).

Se esperan incrementos considerables en la demanda futura de biomasa. El crecimiento proyectado de la población mundial es entre 7,5-8,5 mil millones en el 2030 y 7-11 mil millones en el 2050 (Lutz *et al.*, 2004); junto con mejoras en la dieta humana son fuertes fuerzas conductoras para nuevos aumentos en la cantidad de biomasa requerida como comida y alimentación. Además, muchos escenarios de energía también predicen fuertes aumentos en la cantidad de biomasa utilizada para el suministro de energía (figura 5). Además, el crecimiento del uso de la biomasa en energía no solo puede resultar en un aumento de la competencia entre la alimentación y el suministro de energía, sino también en nuevos aumentos de la AHPPN con posibles efectos ecológicos adversos.

Las políticas dirigidas a promover la utilización de biomasa para provisión de energía deberían, por lo tanto, apuntar a la máxima eficiencia posible en la utilización de biomasa. La utilización de los residuos de biomasa (es decir, residuos de cosechas agrícolas, residuos forestales, estiércol, residuos orgánicos) deben tener prioridad sobre los esquemas de utilización de biomasa que requiere una cosecha adicional. Existen considerables posibilidades para una estrategia de "utilización de biomasa a múltiples niveles" (Fraanje, 1997; Haberl y Geissler, 2000, Haberl *et al.*, 2003; Lutz, 2004). A nivel mundial, los residuos de biomasa podrían producir entre 30 y 112 EJ/año (Erb y Haberl, 2006).

Además, los estudios empíricos demuestran cada vez más que la AHPPN es un importante indicador de la presión humana sobre los ecosistemas y que puede tener efectos adversos sobre la biodiversidad. En un nivel abstracto, la razón por la que la AHPPN es ecológicamente relevante es evidente. La PPN es un parámetro central del funcionamiento de los ecosistemas (Lindemann, 1942; Whittaker y Likens, 1973); los cambios inducidos por los seres humanos en la PPN afectan, por lo tanto, a los patrones, los procesos y las funciones de los ecosistemas, casi por definición. La AHPPN está directamente asociada a la provisión de servicios de los ecosistemas (Evaluación de Ecosistemas del Milenio, 2005; Daily *et al.*, 1999), tanto como al suministro de biomasa a través de la agricultura y la silvicultura. Pero cambios en la productividad inducidos por el cambio en el uso de la tierra (ΔPPN_{LC}) también pueden afectar a muchos importantes servicios de los ecosistemas, tales como la resistencia, la capacidad amortiguadora o la capacidad de absorción de desechos y emisiones.

FIGURA 5. NIVEL ACTUAL Y PROYECTADO DEL USO MUNDIAL DE BIOMASA Y ENERGÍA Y PRODUCCIÓN PRIMARIA NETA MUNDIAL TERRESTRE: UNA RECOPIACIÓN DE LAS ESTIMACIONES

| | Flujo de energía [E/año] | Año | Fuentes |
|---|--------------------------|--------------------|-----------|
| 1. Uso mundial actual de energía y biomasa | | | |
| Biomasa usada para la provisión de energía técnica | 35-55 | Mediados años 1990 | [1.2.3.4] |
| Consumo mundial de energía técnica, excluyendo biomasa | 350 (376) | 1995 | [5] |
| Extracción mundial humana de biomasa (madera, alimentos, etc.) | 235 | 1992-94 | [6] |
| 2. Escenarios de uso futuro / potenciales de la biomasa | | | |
| Potencial a corto plazo de acuerdo a WEA | 145 | 2025 | [2] |
| Potencial a mediano plazo de acuerdo a WEA | 94-280 | c2050 | [2] |
| Potencial a largo plazo de acuerdo a WEA | 132-325 | 2100 | [2] |
| Rango de potenciales a mediano plazo/escenarios encontrados en una revisión | 35-450 | 2050 | [1] |
| WEC/IIASA escenarios a mediana plazo | 78-154 | 2050 | [3] |
| WEC/IIASA escenarios a largo plazo | 174-266 | 2100 | [3] |
| IPCC-SRES escenarios a mediano plazo | 52-193 | 2050 | [7] |
| IPCC-SRES escenarios a largo plazo | 67-376 | 2100 | [7] |
| Potencial de acuerdo a Fischer/Schrattenholzer | 370-450 | 2050 | [8] |
| Potencial de acuerdo a Hoogwijk et al. (2003) | 33-1135 | 2050 | [9] |
| 3. PPN terrestre mundial | | | |
| Promedio del modelo PIK de comparación de proyectos | 2 140 | Mediados años 1990 | [10] |
| PPN estimada por Ajtay et al. (1979) | 2 460 | Años 1970 | [11] |
| “Mejor estimación” actual de acuerdo a Saugier et al. (2001) | 2 440 | Mediados años 1990 | [12] |

[1] Berndes et al. (2003) (resumen resultados de 17 estudios, incluidos algunos de los citados más abajo).

[2] Turkenburg (2000).

[3] Nakicenovic et al. (1998).

[4] Hall et al., (1993b).

[5] Podobnik (1999), conversión propia asumiendo 1 toe = 41.868 GJ (valor calorífico neto). El valor entre paréntesis: estimación de valor calorífico bruto.

[6] Haberl et al. (2006b). Esta estimación se basa en datos de la FAO para la extracción de madera, los datos de cosecha de la biomasa agrícola, incluyendo el pastoreo, evaluada por Wirseniens (2000), una estimación del consumo de fibra, y una estimación de la falta de representación en las estadísticas de la FAO de la biomasa utilizada para el suministro de energía en las economías de subsistencia.

[7] Nakicenovic and Swart (2000).

[8] Fischer and Schrattenholzer (2001).

[9] Hoogwijk et al. (2003).

[10] Cramer et al. (1999), convirtieron asumiendo un contenido de carbono de la biomasa de 47,5 % y 18,5 MJ / kg de valor calorífico bruto de la materia seca de la biomasa.

[11] Ajtay et al. (1979), convirtieron asumiendo 18,5 MJ/kg de valor calorífico bruto de la materia seca de la biomasa.

[12] Saugier et al. (2001) convirtieron esta en [10].

La AHPPN busca cambiar los flujos de energía dentro de las redes de alimentos (Field, 2001). Con base en la hipótesis de especies-energía (Gaston, 2000), la AHPPN se ha planteado como una hipótesis para reducir la pérdida de la biodiversidad (Haberl, 1997; Wright, 1990). Solo unos pocos estudios empíricos se han realizado hasta el momento para probar esta idea. Estos estudios han generado evidencia en favor de la hipótesis AHPPN-biodiversidad (Haberl *et al.*, 2004b; Haberl *et al.*, 2005), pero cabe la oportunidad de proveer más evidencia con respecto a una gama más amplia de ecosistemas. La AHPPN es relevante en el contexto de los flujos mundiales de agua (Gerten *et al.*, 2005), los flujos de carbono (DeFries *et al.*, 1999; McGuire *et al.*, 2001) (y como la biomasa contiene nitrógeno), y en fertilizantes, que son un factor importante para la productividad agrícola.

La AHPPN está vinculada a importantes aspectos de la sostenibilidad global, como la desnutrición de una gran proporción de la población mundial (FAO, 2005b), la continua conversión de ecosistemas valiosos (por ejemplo, bosques) en infraestructura, en tierras de cultivo o en tierras de pastoreo (Evaluación de Ecosistemas del Milenio, 2005; y Lambin y Geist, 2006; FAO, 2004), con consecuencias perjudiciales para la biodiversidad global (Heywood y Watson, 1995; Loreau, s.f.) y alteraciones de los ciclos biogeoquímicos inducidas por el ser humano.

Como conclusión, el análisis de los motores socioeconómicos de la AHPPN, así como de sus impactos ecológicos, debería seguir siendo preponderante en la agenda de la ciencia de la sostenibilidad. En particular, la comprensión sobre las interrelaciones existentes entre la AHPPN y los cambios en las estructuras y procesos económicos, especialmente aquellos relacionados con la transición de la sociedad agraria a la industrial, debe ser una prioridad en la investigación del cambio climático.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue apoyado por el Fondo Austríaco de Ciencia (FMF, <http://www.fwf.ac.at>), proyecto P16692-G05, y del Ministerio Federal de Educación, Ciencia y Cultura, programa de investigación "paisajes culturales de investigación". Disponible en: <http://www.Klf.at>

Este texto contribuye al Proyecto Mundial de la Tierra. Disponible en: <http://www.globallandproject.org>



REFERENCIAS

- Ajtay, G. L., P. Ketner y P. Duvingneaud (1979), "Terrestrial Primary Production and Phytomass", en B. Bolin, E.T. Degens, S. Kempe y P. Ketner, eds., *The Global Carbon Cycle*, Chichester; New York, Brisbane, Toronto, John Wiley & Sons, pp. 129-182.
- Allgeier, H. J., G. Caratti y O. Sandberg (1995), "Towards a European bio-energy strategy", en P. Chartier, A. A. C. M. Beenackers y G. Grassi, eds., *Biomass for Energy, Environment, Agriculture and Industry*, vol. 1, Oxford, New York, Tokyo, Pergamon Press and Elsevier, pp. 11-19.
- Ayres, R. U., y U. E. Simonis (1994), *Industrial Metabolism: Restructuring for Sustainable Development*, Tokyo, New York, París, United Nations University Press.
- Berndes, G., M. Hoogwijk y R. van den Broek (2003), "The contribution of biomass in the future global energy supply: a review of 17 studies", en *Biomass and Bioenergy*, 25, pp. 1-28.
- Cannell, M. G. R. (1982), *World Forest Biomass and Primary Production Data*, London, Academic Press.
- Caspersen, J. P., S. W. Pacala, J. C. Jenkins, G. C. Hurtt, P. R. Moorcroft y R. A. Birdsey (2000), "Contributions of Land-Use History to Carbon Accumulation in U.S. Forests", en *Science*, 290, pp. 1148-1151.
- Comisión Europea (1997), *Energy for the Future: Renewable Sources of Energy. White Paper for a Community Strategy and Action Plan*, Luxembourg, European Commission.
- Costanza, R., J. Cumberland, H. E. Daly, R. Goodland y R. B. Norgaard (1998), "An Introduction to Ecological Economics", Boca Raton, FL/USA, CRC Press.
- Cramer, W., D. W. Kicklighter, A. Bondeau, B. Moore III, G. Churkina, B. Nemry, A. Ruimy, A. Schloss y J. Kaduk, *The Participants of the Potsdam NPP Model Intercomparison (1999)*, "Comparing global models of terrestrial net primary productivity (NPP): overview and key results", en *Global Change Biology*, 5 (Supplement 1), pp. 1-15.
- Crutzen, P. J., y W. Steffen (2003), "How long have we been in the anthropocene era?", en *Climatic Change* 61 (3), pp. 251-257.
- Daily, G. C., S. Alexander, P. R. Ehrlich, L. Goulder, J. Lubchenco, P. A. Matson, H. A. Mooney, S. L. Postel, S. H. Schneider, D. Tilman y G. M. Woodwell (1999), "Ecosystem Services: Benefits Supplied to Human Societies by Natural Ecosystems", en *Issues in Ecology*, 2.
- Daly, H. E. (2006), "The Concept of Scale in Ecological Economics: Its Relation to Allocation and Distribution", en *Internet Encyclopedia of Ecological Economics*, International Society for Ecological Economics (ISEE).
- Davidson, C. (2000), "Economic Growth and the Environment: Alternatives to the Limits Paradigm", en *BioScience* 50 (5), pp. 433-440.
- DeFries, R. S., C. B. Field, I. Fung, G. J. Collatz y L. Bounoua (1999), "Combining satellite data and biogeochemical models to estimate global effects of human-induced land cover change on carbon emissions and primary productivity", en *Global Biogeochemical Cycles*, 13 (3), pp. 803-815.
- Erb, K. H., H. Haberl, F. Krausmann, V. Gaube, C. Plutzer, S. Gingrich, A. Bondeau y W. Lucht (2005), "Global Human Appropriation of the Products of Photosynthesis in 2000 – a new spatially explicit estimate", Presentation at the 6th Open Meeting of the Human Dimensions of Global Environmental Change Research Community, University of Bonn, Germany, 9-13 October 2005.
- Erb, K. H., V. Gaube, F. Krausmann, C. Plutzer, A. Bondeau y H. Haberl (2007), "A comprehensive global 5min resolution land-use dataset for the year 2000 consistent with national census data", en *Journal of Land Use Science*, 2 (3), pp. 191-224.
- Evans, L. T. (1993), *Crop Evolution, Adaption and Yield*, Cambridge, Cambridge University Press.
- FAO (2002), *FAO-STAT 2001 Statistical Database*. Rome, FAO, CD-Rom and www.fao.org.
- ——— (2004), *FAOSTAT 2004, FAO Statistical Databases: Agriculture, Fisheries, Forestry, Nutrition*, Roma.
- ——— (2005a), *FAOSTAT 2005, FAO Statistical Databases: Agriculture, Fisheries, Forestry, Nutrition*, Roma.
- ——— (2005b), *The State of Food Insecurity in the World 2005. Eradicating world hunger - key to achieving the Millennium Development Goals*. Rome, Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Field, C. B. (2001), "Sharing the Garden", en *Science*, 294, pp. 2490-2491.

- Fischer-Kowalski, M. y H. Haberl (1997), "Tons, Joules and Money: Modes of Production and their Sustainability Problems", en *Society and Natural Resources*, 10 (1), pp. 61-85.
- Fischer-Kowalski, M., y H. Haberl, eds. (2007), "Socioecological Transitions and Global Change. Trajectories of Social Metabolism and Land Use", Elgar Edward Publishing, Cheltenham, UK and Northampton, USA.
- Fischer, G., y Schrattenholzer, L. (2001), "Global bioenergy potentials through 2050", en *Biomass and Bioenergy*, 20, pp. 151-159.
- Fraanje, P.J. (1997), "Cascading of pine wood", en *Resources, Conservation and Recycling*, 19, pp. 21-28.
- Gaston, K. J. (2000), "Global patterns in biodiversity", en *Nature*, 405, pp. 220-227.
- Gerten, D., H. Hoff, A. Bondeau, W. Lucht, P. Smith y S. Zaehle (2005), "Contemporary 'green' water flows: Simulations with a dynamic global vegetation and water balance model", en *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C* 30 (6-7), pp. 334-338.
- Gough, C. M., C. S. Vogel, K. H. Harrold, K. George y P. S. Curtis (2007), "The legacy of harvest and fire on ecosystem carbon storage in a north temperate forest", en *Global Change Biology*, 13 (9), pp. 1935-1949.
- Haberl, H. (1997), "Human Appropriation of Net Primary Production as an Environmental Indicator: Implications for Sustainable Development", en *Ambio*, 26 (3), pp. 143-146.
- ——— (2001a), "The Energetic Metabolism of Societies, Part I: Accounting Concepts", en *Journal of Industrial Ecology*, 5 (1), pp. 11-33.
- ——— (2001b), "The Energetic Metabolism of Societies, Part II: Empirical Examples", en *Journal of Industrial Ecology*, 5 (2), pp. 71-88.
- ——— (2002), "Human Appropriation of Net Primary Production (HANPP): Tools to relate socio-economic metabolism and land use", en H. Schandl, C. M. Grünbühel, H. Haberl y H. Weisz, eds., *Handbook of Physical Accounting. Measuring bio-physical dimensions of socio-economic activities MFA - EFA - HANPP*, versión 1.0., Vienna, Federal Ministry of Agriculture and Forestry, Environment and Water Management, Report No. 9/2002, pp. 47-62.
- Haberl, H., y S. Geissler (2000), "Cascade Utilisation of Biomass: How to cope with ecological limits to biomass use", en *Ecological Engineering*, 16 (supplement), S111-S121.
- Haberl, H., y Erb, K. H. (2006), "Assessment of Sustainable Land Use in Producing Biomass", en J. Dewulf y H. V. Langenhove, eds., *Renewables-Based Technology: Sustainability Assessment*, Chichester, John Wiley & Sons, pp. 175-192.
- Haberl, H., K. H. Erb, F. Krausmann, W. Loibl, N. B. Schulz y H. Weisz (2001), "Changes in Ecosystem Processes Induced by Land Use: Human Appropriation of Net Primary Production and Its Influence on Standing Crop in Austria", en *Global Biogeochemical Cycles*, 15 (4), pp. 929-942.
- Haberl, H., K. H. Erb, F. Krausmann, H. Adensam y N. B. Schulz (2003), "Land-Use Change and Socioeconomic Metabolism in Austria. Part II: Land-Use Scenarios for 2020", en *Land Use Policy*, 20 (1), pp. 21-39.
- Haberl, H., F. Krausmann, K. H. Erb, N. B. Schulz, S. Rojstaczer, S. M. Sterling y N. Moore (2002), "Human Appropriation of Net Primary Production", en *Science*, 296 (14 june), pp. 1968-1969.
- Haberl, H., M. Fischer-Kowalski, F. Krausmann, H. Weisz, V. Winiwarter (2004a), "Progress Towards Sustainability? What the conceptual framework of material and energy flow accounting (MEFA) can offer", en *Land Use Policy*, 21 (3), pp. 199-213.
- Haberl, H., N. B. Schulz, C. Plutzer, K. H. Erb, F. Krausmann, W. Loibl, D. Moser, N. Sauberer, H. Weisz, H. G. Zechmeister y P. Zulka (2004b), "Human Appropriation of Net Primary Production and Species Diversity in Agricultural Landscapes", en *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 102 (2), pp. 213-218.
- Haberl, H., C. Plutzer, K. H. Erb, V. Gaube, M. Pollheimer y N. B. Schulz (2005), "Human Appropriation of Net Primary Production as Determinant of Avifauna Diversity in Austria", en *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 110 (3-4), pp. 119-131.
- Haberl, H., F. Krausmann y S. Gingrich, S. (2006a), "Ecological Embeddedness of the Economy. A Socioecological Perspective on Humanity's Economic Activities 1700-2000", en *Economic and Political Weekly*, XLI (47), pp. 4896-4904.
- Haberl, H., H. Weisz, C. Amann, A. Bondeau, N. Eisenmenger, K. H. Erb, M. Fischer-Kowalski y F. Krausmann (2006b), "The energetic metabolism of the EU-15 and the USA. Decadal energy input time-series with an emphasis on biomass", en *Journal of Industrial Ecology*, 10 (4), pp. 151-171.
- Haberl, H., K. H. Erb, F. Krausmann, V. Gaube, A. Bondeau, C. Plutzer, S. Gingrich, W. Lucht y M. Fischer-Kowalski (2007),



- "Quantifying and mapping the human appropriation of net primary production in earth's terrestrial ecosystems", *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, 104, pp. 12942-12947
- Hall, D. O., J. M. O. Scurlock, H. R. Bolhàr-Nordenkamp, R. C. Leegood y S. P. Long, eds. (1993a), *Photosynthesis and Production in a Changing Environment. A Field and Laboratory Manual*, London, New York, Tokyo, Chapman & Hall.
 - Hall, D. O., F. Rosillo-Calle, R. H. Williams y J. Woods (1993b), "Biomass for Energy: Supply Prospects", en T. B. Johansson, H. Kelly, A. K. N. Reddy y R. H. Williams, eds., *Renewable Energy, Sources for Fuels and Electricity*, London, Washington D.C., Covelo, CA, Earthscan, Island Press, pp. 653-698.
 - Hannah, L., D. Lohse, C. Hutchinson, J. L. Carr y A. Lanckerani (1994), "A Preliminary Inventory of Human Disturbance of World Ecosystems", en *Ambio*, 23 (4-5), pp. 246-250.
 - Harmon, M. E., W. K. Ferrell y J. F. Franklin (1990), "Effects on Carbon Storage of Conversion of Old-Growth Forests to Young Forests", en *Science*, 247, pp. 699-702.
 - Harmon, M. E., J. F. Franklin, F. J. Swanson, P. Sollins, S. V. Gregory, J. D. Lattin, N. H. Anderson, S. P. Cline, N. G. Aumen, J. R. Sedell, G. W. Lienkaemper, K. Cromack y K. W. Cummins (1986), "Ecology of coarse woody debris in temperate ecosystems", en *Advances in Ecological Research*, 15, pp. 133-302.
 - Heywood, V. H., y R. T. Watson (1995), *Global Biodiversity Assessment*, Cambridge, Cambridge University Press, United Nations Environment Programme (UNEP).
 - Hinterberger, F., S. Giljum y M. Hammer (2003), "Material Flow Accounting and Analysis (MFA). A Valuable Tool for Analyses of Society-Nature Interrelationships", en *Internet Encyclopedia of Ecological Economics*, International Society for Ecological Economics.
 - Hoogwijk, M., A. Faaij, R. V. D. Broek, G. Berndes, D. Gielen y W. Turkenburg (2003), "Exploration of the ranges of the global potential of biomass for energy", en *Biomass and Bioenergy*, 25, pp. 119-133.
 - Imhoff, M. L., L. Bounoua, T. Ricketts, C. Loucks, R. Harris y W. T. Lawrence (2004), "Global patterns in human consumption of net primary production", en *Nature*, 429, pp. 870-873.
 - Krausmann, F. (2001), "Land Use and Industrial Modernization: an empirical analysis of human influence on the functioning of ecosystems in Austria 1830-1995", en *Land Use Policy*, 18 (1), pp. 17-26.
 - Krausmann, F., K. H. Erb, S. Gingrich, C. Lauk y H. Haberl, "Global patterns of socioeconomic biomass flows in the year 2000: A comprehensive assessment of supply, consumption and constraints", en *Ecological Economics* (en prensa).
 - Lambin, E. F., y H. J. Geist (2006), "Land-Use and Land-Cover Change. Local Processes and Global Impacts", Berlin, Springer.
 - Lieth, H. (1975), "Modeling the Primary Productivity of the World", en H. Lieth y R. H. Whittaker, eds., *Primary Productivity of the Biosphere*, Berlin, Heidelberg, New York, Springer, pp. 237-264.
 - Lieth, H., y R. H. Whittaker (1975), *Primary Productivity of the Biosphere*, Berlin, Heidelberg, New York, Springer.
 - Lindemann, R. L. (1942), "The Trophic-Dynamic Aspect of Ecology", en *Ecology*, 23 (4), pp. 399-418.
 - Loomis, R. S. (1983), "Productivity of Agricultural Ecosystems", en O. L. Lange, C. B. Osmond y H. Ziegler, eds., *Physiological Plant Ecology IV, Ecosystem Processes: Mineral cycling, Productivity, and Man's influence*, pp. 151-172.
 - Loomis, R. S., y P. A. Gerakis (1975), "Productivity of agricultural ecosystems", en H. P. Cooper, eds., *Photosynthesis and productivity in different environments*, Cambridge, London, New York, Melbourne, International Biological Programme 3, Cambridge University Press, pp. 145-172.
 - Loreau, M. (s.f.), "Biodiversity loss and the Maintenance of Our Life-Support System", en W. Steffen, J. Jäger, D. J. Carson y C. Bradshaw, eds., *Challenges of a Changing Earth*, Berlin, Springer, pp. 169-173.
 - Lutz, W., W. C. Sanderson y S. Scherbov (2004), "The End of World Population Growth", en W. Lutz, W. C. Sanderson, S. Scherbov, eds., *The End of World Population Growth in the 21st Century. New Challenges for Human Capital Formation and Sustainable Development*, London, Sterling, Earthscan, pp. 17-83.
 - McGuire, A. D., S. Sitch, J. S. Clein, R. Dargaville, G. Esser, J. A. Foley, M. Heimann, F. Joos, J. Kaplan, D. W. Kicklighter, R. A. Meier, J. M. Melillo, B. Moore III, I. C. Prentice, N. Ramankutty, T. Reichenau, A. Schloss, H. Tian, L. J. Williams y U. Wittenberg (2001), "Carbon balance of the terrestrial biosphere in the twentieth century: Analyses of CO₂, climate and land-use effects wieht four process-based ecosystem models", en *Global Biogeochemical Cycles*, 15 (1), pp. 183-206.

- Meadows, D. L., D. H. Meadows y J. Randers (1992), *Beyond the Limits: Global Collapse or a Sustainable Future*, London, Earthscan.
- Millenium Ecosystem Assessment (2005), *Ecosystems and Human Well-Being, Synthesis*, Washington D.C., Island Press.
- Nakicenovic, N., A. Grübler y A. McDonald (1998), *Global Energy Perspectives*, Cambridge, Cambridge University Press.
- Nakicenovic, N., y R. Swart (2000), "Special Report on Emission Scenarios", Cambridge, Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Cambridge University Press.
- O'Neill, D.W., P.H. Tyedmers y K. F. Beazley (2006), "Human appropriation of net primary production (HANPP) in Nova Scotia, Canada", en *Regional Environmental Change* in press.
- Podobnik, B. (1999), "Toward a Sustainable Energy Regime, A Long-Wave Interpretation of Global Energy Shifts", en *Technological Forecasting and Social Change*, 62 (3), pp. 155-172.
- Rojstaczer, S., S. M. Sterling y N. Moore (2001), "Human Appropriation of Photosynthesis Products", en *Science*, 294 (5551), pp. 2549-2552.
- Sagoff, M. (1995), "Carrying capacity and ecological economics", en *BioScience*, 45 (9), pp. 610-620.
- Sampaio-Nunes, D. (1995), "The role of biomass in the European energy policy", en P. Chartier, A. A. C. M. Beenackers, G. Grassi, eds., *Biomass for Energy, Environment, Agriculture and Industry*, vol. 1, Oxford, New York, Tokyo, Pergamon Press and Elsevier, pp. 20-30.
- Sanderson, E., M. Jaiteh, M. Levy, K. Redford, A. Wannebo y G. Woolmer (2002), "The human footprint and the last of the wild", en *BioScience*, 52 (10), pp. 891-904.
- Saugier, B., J. Roy y H. A. Mooney (2001), "Estimations of Global Terrestrial Productivity: Converging toward a Single Number?", en J. Roy, B. Saugier, H. A. Mooney, eds., *Terrestrial Global Productivity*, San Diego, Academic Press, pp. 543-557.
- Scurlock, J. M. O., y D. O. Hall (1990), "The Contribution of Biomass to Global Energy Use. 1987", en *Biomass*, 21, pp. 75-81.
- Sitch, S., B. Smith, I. C. Prentice, A. Arneth, A. Bondeau, W. Cramer, J. O. Kaplan, S. Levis, W. Lucht, M.T. Sykes, K. Thonicke y S. Venevsky (2003), "Evaluation of ecosystem dynamics, plant geography and terrestrial carbon cycling in the LPJ dynamic global vegetation model", en *Global Change Biology*, 9 (2), pp. 161-185.
- Steffen, W., A. Sanderson, P. D. Tyson, J. Jäger, P. A. Matson, B. Moore III, F. Oldfield, K. Richardson, H. J. Schellhuber, B. L. Turner II y R. J. Wasson (2004), *Global Change and the Earth System. A Planet Under Pressure*, Berlin, Springer.
- Turkenburg, W. C. (2000), "Renewable Energy Technology", en J. Goldemberg, eds., *World Energy Assessment: Energy and the challenge of sustainability*, New York, United Nations Development Programme (UNDP), United Nations Department of Economic and Social Affairs, World Energy Council (WEC), pp. 219-272.
- Tüxen, R. (1956), "Die heutige potentielle natürliche Vegetation als Gegenstand der Vegetationskartierung", en *Angewandte Pflanzensoziologie*, 13, pp. 5-42.
- Vitousek, P. M., P. R. Ehrlich, A. H. Ehrlich y P. A. Matson (1986), "Human Appropriation of the Products of Photosynthesis", en *BioScience*, 36 (6), pp. 363-373.
- Vitousek, P. M., H. A. Mooney, J. Lubchenco y J. M. Melillo (1997), "Human Domination of Earth's Ecosystems", en *Science*, 277, pp. 494-499.
- Weisz, H., F. Krausmann, C. Amann, N. Eisenmenger, K. H. Erb, K. Hubacek y M. Fischer-Kowalski (2006), "The physical economy of the European Union: Cross-country comparison and determinants of material consumption", en *Ecological Economics*, 58 (4), pp. 676-698.
- Whittaker, R. H., y G. E. Lieth (1973), "Primary Production: The Biosphere and Man", en *Human Ecology*, 1 (4), pp. 357-369.
- Wirsenius, S. (2000), *Human Use of Land and Organic Materials. Modeling the Turnover of Biomass in the Global Food System*, Göteborg, Sweden, Chalmers University.
- Wirsenius, S. (2003), "Efficiencies and biomass appropriation of food commodities on global and regional levels", en *Agricultural Systems*, 77, pp. 219-255.
- Wright, D. H. (1990), "Human impacts on the energy flow through natural ecosystems, and implications for species endangerment", *Ambio*, 19 (4), pp. 189-194.