



# El metabolismo social. Historia, métodos y principales aportaciones

**Juan Infante-Amate**

Universidad Pablo de Olavide. Ctra. de Utrera, Km1, 41013 Sevilla, España  
jinfama@upo.es

**Manuel González de Molina**

Universidad Pablo de Olavide. Ctra. de Utrera, Km1, 41013 Sevilla, España  
mgonnav@upo.es

**Víctor M. Toledo**

Universidad Nacional Autónoma de México. *Instituto de Ecología, UNAM, Circuito Exterior S/N  
anexo Jardín Botánico exterior. Ciudad Universitaria, Ciudad de México, C.P. 04500.*  
vtoledo@cieco.unam.mx

## Resumen

El concepto de Metabolismo Social ha cobrado una gran importancia dentro de los estudios que tratan de comprender las interacciones entre la sociedad y el medio ambiente. Desde la década de 1990 su impacto ha crecido de manera exponencial siendo utilizado por numerosos autores provenientes de diferentes disciplinas científicas. El objetivo de este trabajo es ofrecer un estado de la cuestión de este enfoque. Se revisan los orígenes y la historia del concepto, su reciente éxito, las herramientas metodológicas que se han utilizado en el marco de sus estudios, así como los principales resultados que ha generado.

**Palabras clave:** metabolismo social, metabolismo socio-ecológico; contabilidad del flujo de materiales, transición socio-ecológica, consumo de recursos

## Abstract

The concept of Social Metabolism has gained a growing importance among the studies that try to understand human-nature interactions. Its impact has grown exponentially since the 1990s, being used by many authors representing different scientific disciplines. The main goal of this paper is to provide a review of the state of the art concerning the social metabolism approach. We reconstruct the origins and history of the concept, its recent success, the methodological tools used and the principal findings it has generated.

**Key-words:** social metabolism, socio-ecological metabolism, materials flow accounting, socio-ecological transition, resources consumption

**JEL Codes:** Q57, Q01, O13, N50, O14



## 1. Introducción

En 2017 se cumplen dos décadas de la publicación de uno de los textos pioneros en el uso moderno del concepto de Metabolismo Social (MS, desde aquí) (Fischer-Kowalski 1997). Entonces se presentó como un “concepto estrella” que apenas estaba en su “infancia”. Hoy se ha convertido en uno de los instrumentos más robustos para comprender las complejas interacciones entre la sociedad y la naturaleza. El concepto designa un conjunto de herramientas teóricas y metodológicas útiles para analizar el comportamiento físico de la economía (Aadrianse 1997; Matthews et al. 2000; Haberl 2001; Weisz et al. 2006), que aportan información valiosa para evaluar su grado de sustentabilidad. Ha llegado a constituir en la práctica una nueva perspectiva de análisis de las relaciones de la sociedad con la naturaleza, atendiendo a su base material, principalmente estudiando los flujos de energía y materiales (Fischer-Kowalski y Haberl 1997, 2007; Siefertle 2011; González de Molina y Toledo 2011, 2014). Aprovechamos esta efeméride para hacer un balance sobre sus principales contribuciones. Aunque recientemente han aparecido varios trabajos a modo de estado de la cuestión (Pauliuk y Hertwich 2015; Gerber y Scheidel 2018), se han centrado principalmente en las contribuciones y las escuelas que han abordado la noción de MS en foros de habla inglesa. Este hecho resulta especialmente limitante a la hora de ofrecer una síntesis sobre el MS ya que, como veremos más abajo, hoy en día está mucho más extendido en foros de habla castellana o portuguesa que en foros anglosajones.

El MS surgió como analogía de la noción biológica de metabolismo, dado que las relaciones que los seres humanos establecen con la naturaleza son siempre dobles: individuales o biológicas y colectivas o sociales. A escala individual los seres humanos extraen de la naturaleza cantidades suficientes de oxígeno, agua y biomasa por unidad de tiempo para sobrevivir como organismos, y excretan calor, agua, dióxido de carbono y sustancias mineralizadas y orgánicas. A escala social, el conjunto de

individuos articulados a través de relaciones o nexos de diferentes tipos se organizan para garantizar su subsistencia y reproducción y extraen también materia y energía de la naturaleza por medio de estructuras colectivas y artefactos, y excretan toda una gama de residuos o desechos. El MS puede ser definido, pues, como el modo en que las sociedades organizan su intercambio de energía y materiales con su medio ambiente (Fischer-Kowalski y Haberl 1993, 1997; Fischer-Kowalski 1998, 2002; Giampietro y Mayumi 2000; Giampietro et al. 2011) con el propósito de revertir el proceso entrópico al que, como todos los seres vivos, están sujetos (González de Molina y Toledo 2014).

El primero en utilizar este concepto en las ciencias sociales fue Karl Marx, a partir de sus lecturas de los naturalistas de su época, principalmente del holandés Möleschot, que constituyeron una herramienta fundamental en su análisis económico y político del capitalismo (Schmidt 1971). El concepto, sin embargo, permaneció en estado latente hasta finales de la década de 1960. Desde los años noventa del siglo XX la metáfora del MS ha ido ganando adeptos, se han formalizado metodologías y se han aplicado a decenas de estudios de caso añadiendo en muchos de ellos una amplia perspectiva temporal. Como consecuencia de ello, hoy en día contamos con detalladas evidencias que nos permiten comprender mejor el funcionamiento biofísico de las sociedades.

Este artículo se estructura de la siguiente manera. En primer lugar, presentamos un breve repaso por la historia del concepto, desde sus primeros usos hasta su reciente eclosión, ofreciendo un primer análisis bibliométrico que distingue la geografía de su expansión. A continuación, presentamos las principales herramientas metodológicas utilizadas en estudios de MS. Concluimos con un resumen de sus principales resultados, en el que distinguimos algunos de los debates abiertos en diferentes disciplinas en las que sus contribuciones han sido especialmente relevantes.



## 2. Breve historia del concepto y de su reciente éxito

Desde su eclosión, a principios del siglo XIX (Fischer-Kowalski 2002), muchos autores ampliaron la escala de la noción tradicional de metabolismo desde la unidad celular a otras más amplias como órganos, organismos e incluso ecosistemas, entendiendo las nuevas unidades de análisis como la adición de procesos biológicos y químicos necesarios para su funcionamiento, principalmente estudiando los intercambios de materia y energía (Odum 1969; Fischer-Kowalski 1998). A finales del siglo XX y ante la creciente presión humana sobre el medio ambiente, la metáfora metabólica aumentó su ámbito hasta incluir sistemas sociales. Nació, así, el concepto moderno de MS.

Su gran expansión es relativamente reciente y data de la década de 1990. Según la base de datos de *Google Scholar*, la primera vez que se utilizó el término "Metabolismo Social" en un documento científico fue en 1872. Desde esa fecha se ha utilizado en 10 038 ocasiones, de las cuales, el 93,5% corresponden al período 2001-16 (Tabla 1). La evolución en su uso muestra un crecimiento exponencial que se mantiene hasta la actualidad: en todo el siglo XX se había citado un total de 655 veces; en la primera década del siglo XXI, 3 012 veces; solo entre 2011 y 2016 se ha citado 6 371 veces. En relación a los idiomas de uso, el inglés fue el principal vehículo en su difusión inicial. Concentra el 46,8% de las referencias totales y fue el idioma con mayor número de referencias hasta 2005. A partir de ese año, el concepto de MS es más utilizado en publicaciones de habla castellana y portuguesa (sumando ambas). Es más, si sumamos las referencias totales históricas observamos que ya hay más alusiones en textos de lengua castellana y portuguesa (4 840) que en textos de habla inglesa (4 701). La brecha sigue creciendo (Figura 1).

Un concepto análogo, el de Metabolismo Industrial (MI), se ha citado 5 040 veces, manteniendo una evolución similar al de MS. Sin embargo, solo cuenta con 699 citas en español/portugués. Dicho de otra forma, ambas nociones (MS y MI) revelan un

impacto importante y creciente, no obstante, la de MI se ha expandido principalmente en foros anglosajones mientras que la de MS ha tenido mayor impacto en otras lenguas, especialmente en ámbito latinoamericano.

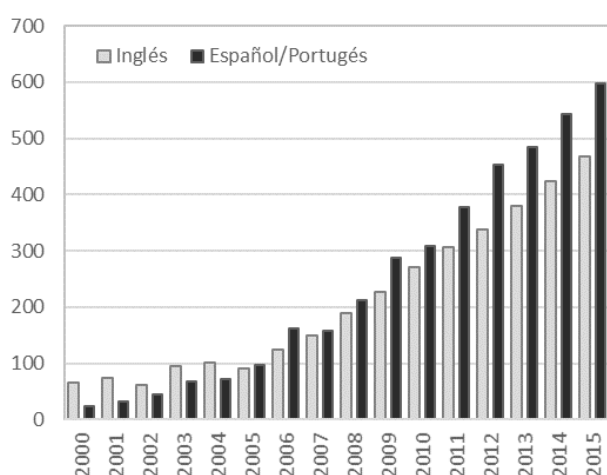
Desde finales del siglo XIX varios autores utilizaron la analogía del metabolismo aplicada a ámbitos sociales, aunque sin desarrollar una propuesta metodológica específica. Karl Marx incorporó el término metabolismo (*stoffwechsel*) aludiendo a las relaciones materiales entre el hombre y la naturaleza, aunque sin una propuesta biofísica del análisis económico (Foster 1999; Schmidt 1971; Martínez-Alier 1987). Esta propuesta sí empezó a estar presente en la obra de algunos autores como Sergei Podolinsky -quien tuvo relación con Marx y Engels-, Wilhelm Ostwald, Frederick Soddy o Patrick Geddes desde finales del siglo XIX y principios del siglo XX (Martínez-Alier 1987, Fischer-Kowalski 1998, 2002). Sigue abierto el debate sobre el papel de Marx y Engels en las primeras formulaciones biofísicas del MS, especialmente por la relación entre estos y Sergei Podolinsky. La nueva obra de Foster y Bukett ha retomado con profundidad un asunto abierto hace ya tres décadas por Martínez-Alier (1987).

Desde 1960 y al calor de la crítica a la teoría económica convencional y de la creciente toma de conciencia sobre el agotamiento de los recursos, un buen número de académicos enfatizaron la necesidad de profundizar en los análisis biofísicos de la economía, incidiendo en el hecho de que la economía convencional eludía la realidad biofísica en la que se insertaba y que, entre otras cosas, podía ejercer como límite al crecimiento económico moderno (Boulding 1966, 1978; Ayres y Kneese 1969; Georgescu-Roegen 1971; Daly 1973). De alguna manera estos precursores de lo que hoy es la Economía Ecológica practicaron o anticiparon los fundamentos de lo que hoy se conoce como estudios de MS. Aunque rara vez utilizaron tal apelativo se podría decir que cuando el MS despertó –en la década de los noventa-, ya estaba allí, latiendo entre los fundadores de la Economía Ecológica.

**Tabla 1.** Citas recogidas en Google Scholar del concepto “Metabolismo Social”.

	Inglés	Español/ Portugués	Alemán	Francés	Italiano	Total
1870-80			3			
1880-90						
1891-00						
1901-10	1		1			2
1911-20	1					1
1921-30	10					10
1931-40	8	1			2	11
1941-50	9	3			1	13
1951-60	5	3		2	3	13
1961-70	26	7		5	1	39
1971-80	47	12	7	3	1	70
1981-90	60	18	7	9	1	95
1991-00	294	76	18	9	4	401
2001-10	1 390	1 440	115	34	33	3 012
2011-18	2 850	3 280	141	66	34	6 371
Total	4 701	4 840	289	128	80	10 038

Fuente: Google Scholar. Nota: para la búsqueda en inglés hemos introducido el concepto de “Social Metabolism” más “Societal Metabolism”, “Socioecological Metabolism” and “Socioeconomic Metabolism” y hemos excluido el término “Metabolismo Social” en español y portugués pues las publicaciones en este idioma suelen tener resúmenes en inglés en los que se cita el concepto en dicha lengua.

**Figura 1.** Citas recogidas en Google Scholar del concepto de “Metabolismo Social” entre 2000 y 2015. Español/Portugués e Inglés.

Fuente: íbidem ant.

Como una línea evolutiva paralela, antes de su uso actual y de su reciente eclosión, la metáfora del MS ya había sido utilizada por otros investigadores con otros objetivos. La mayor parte de las referencias anteriores a 1980 aludían a teorías sociológicas que no tenían ninguna base biofísica. Empezó a popularizarse entre antropólogos, politólogos, psicólogos y demógrafos. Estos usos hacían referencia, generalmente, a la movilidad social o a los cambios abruptos en la estructura de las sociedades.<sup>1</sup> Sin una definición de consenso, estos trabajos aludían al MS como diferentes alteraciones sociales sin ofrecer, no obstante, una propuesta teórica homogénea o de consenso. Se aludía al MS como los “disorders related to movements of population” (Park 1926) o, por otro lado, los “shifts in the personnel composition of groups” (Hartshome 1940:899), citando dos de los trabajos con mayor impacto en la época. Dentro de esta confusa utilización que se hizo del término hasta la década de 1980 empezaron a aparecer investigaciones que hablaban de los cambios en las ciudades desde un punto de vista metabólico. El trabajo más exitoso que utilizó el concepto en este sentido decía lo siguiente: “Urban growth may be even more fundamentally stated as the resultant of processes of organization and disorganization, like the anabolic and katabolic processes of metabolism in human body” (Burgess 1967:85).<sup>2</sup> Bajo este enfoque también se aludía al metabolismo de las ciudades como el “change and expansion of the larger system” (Greer 1962:108). En esa dirección, otros autores llegaron a hablar de “demographic metabolism” (Ryder 1965). En suma, el concepto empezó a tener –débil– predicamento en diferentes áreas de las ciencias sociales, de manera algo azarosa y poco articulada, para evidenciar cambios y alteraciones en sistemas sociales de diverso ámbito.

<sup>1</sup> Tal es el caso, por ejemplo, del primer texto en el que las palabras “Metabolismo Social” aparecían explícitamente en el título (Sarkar 1937).

<sup>2</sup> Con 3 364 citas recogidas en Google Scholar. Consulta en 11 de octubre de 2017.



**Tabla 2.** Publicaciones clave sobre la aproximación del Metabolismo Social. (1) Artículo / Capítulo de libro. (2) Libro. (3) Compilaciones.

Título	Referencia	Tipo
The metabolism of the cities	Wolman (1965)	(1)
Industrial Metabolism	Ayres (1989)	(1)
Metabolism of the Anthroposphere	Baccini y Brunner (1991)	(2)
Society's metabolism: on the childhood and adolescence of a rising conceptual star	Fischer-Kowalski (1997)	(1)
Resource flows: the material basis of industrial economies	Adriaanse et al. (1997)	(3)
Societal Metabolism: Blending New Insights from Complex System Thinking with Old Insights from Biophysical Analyses of the Economic Process	Giampietro, Moriguchi y Martínez-Alier (2000)	(1)
The weight of Nations	Matthews et al. (2000)	(3)
Economy-wide material flow accounts and derived indicators: A methodological guide	Eurostat (2001)	(2)
A handbook of Industrial Ecology	Ayres y Ayres (2002)	
North-South trade and the distribution of environmental goods and burdens: a biophysical perspective	Giljum y Eisemenger (2004)	(1)
El metabolismo social: las relaciones entre la sociedad y la naturaleza	Toledo y González de Molina	(1)
Socioecological transitions and global change: Trajectories of social metabolism and land use	Fischer-Kowalski y Haberl (2007)	(3)
Metabolismos Rurales	Toledo y García Frapolli (2008)	(3)
Growth in global materials use, GDP and population during the 20th century	Krausmann et al. (2009)	(1)
Metabolismos, naturaleza e historia. Una teoría de las transformaciones socio-ecológicas	González de Molina y Toledo (2011)	(2)
The metabolic pattern of societies: where economists fall short	Giampietro et al. (2011)	(3)
Long term socio-ecological research. Studies in Society: Nature Interactions Across Spatial and Temporal Scales	Singh et al. (2013)	(3)
The social metabolism. A socio-ecological theory of historical change	González de Molina y Toledo (2014)	(2)

Fuente: elaboración propia.

Bien entrados en la segunda mitad del siglo XX, en un contexto de industrialización acelerada, varios autores empezaron a utilizar por primera vez la metáfora metabólica en clave socio-ecológica. Wolman (1965) habló del metabolismo de las ciudades. Preocupado por su gran expansión y crecientes necesidades de recursos para su funcionamiento señaló que los “metabolic requirements of a city can be defined as the materials and commodities needed to sustain the city's inhabitants at home, at work and at play” (Wolman 1965:179). Años después, Robert Ayres (1989), en la misma dirección, acuñó el término de MI. Con él quería evidenciar los cambios en los flujos de energía y materiales inducidos por el hombre en el reciente proceso de industrialización y que estaban alterando los ciclos naturales de la biosfera. Paralelamente, y con una propuesta de investigación análoga, Buccini y Brenner (1991) publicaron un libro titulado “El metabolismo de la antroposfera”. En esas mismas fechas, y en años sucesivos, Marina Fischer-Kowalski, junto con otros autores, sacaba a la luz una serie de trabajos en los que se hablaba, de una forma más amplia, de “Metabolismo Social”. Con el tiempo, tales trabajos se han convertido en la referencia más recurrente sobre la materia (Fischer-Kowalski 1997, 1998, Fischer-Kowalski y Hüttler 1998; Fischer-Kowalski y Haberl 1993, 1997). En ellos analizaba la naturaleza y la historia del concepto, así como las grandes transiciones en el uso de los recursos en sociedades tradicionales e industriales. En la Tabla 2 ofrecemos una síntesis de las obras más representativas en el avance de la idea de MS.

### 3. Aproximaciones y herramientas metodológicas

¿Cómo se puede medir el metabolismo de una sociedad? Si de lo que se trata es de cuantificar los flujos de energía y materiales entre la sociedad y su medio ambiente, la literatura recoge decenas de indicadores y metodologías englobadas en el amplio paraguas de los Material and Energy Flow



Analysis (MEFA)<sup>3</sup> (Bringezu et al. 2003). Sin embargo, solo un pequeño grupo de herramientas metodológicas se ha desarrollado dentro de lo que hoy consideramos estudios de MS. Son herramientas que aportan información a escalas territoriales amplias, relativas a flujos mediados por la acción humana y que aportan información que trasciende aspectos de ecoeficiencia. En lo que sigue hacemos un repaso por las más utilizadas (detalladas en la Tabla 3).

En la actualidad podemos identificar varias aproximaciones o escuelas en el estudio del MS con diferentes objetivos y preguntas de investigación. Utilizan o incluso han desarrollado diferentes herramientas. En primer lugar, la articulada en torno al IFF Social Ecology de Viena, que destaca en el estudio de grandes tendencias en el uso de recursos a escalas de análisis agregadas. En segundo lugar, la del MuSIASEM, en el ICTA de Barcelona, más interesada en abrir la caja negra de los procesos metabólicos integrando diferentes escalas y analizando la interacción entre flujos y fondos. En tercer lugar, la escuela que trata de aplicar la propuesta del MS a la agricultura y al mundo rural y que tiene una doble orientación: agroecológica e histórica.<sup>4</sup>

Para estudios de grandes tendencias a escalas agregadas, la propuesta metodológica estrella es la Economy-Wide

MFA (EW-MFA, y de manera simplificada, MFA). Ofrece información sobre el uso de materiales en un territorio (generalmente un país). Su desarrollo, basado en propuestas previas como las de Ayres y Kneese (1969), data de principios de la década de 1990 en base a los trabajos de varios centros de investigación entre los que destacaron el National Institute for Environmental Studies (NIES) de Japón, Wuppertal Institute (WI) de Alemania, y el Institute for Social Ecology (SEC) de Austria. En un primer momento publicaron fragmentariamente los resultados MFA aplicados a sus países de origen (JEA 1992; Steuer 1992; Bringezu 1993). A finales de los años noventa se consolidó una estrecha colaboración entre estos grupos en el programa ConAccount, el cual permitió homogeneizar y consolidar el MFA como un indicador estándar y comparable (Bringezu et al. 1997, 1998 a, b). El resultado más exitoso -por su impacto posterior- fue el desarrollo de una guía metodológica publicada por Eurostat (2001), que se ha terminado convirtiendo en la referencia obligada para investigadores y organismos estadísticos oficiales. Unos años antes, las instituciones citadas, así como otras que se integraron en el consorcio, publicaron resultados de indicadores MFA para varios países: Alemania, Austria, USA, Japón y Holanda (Adriaanse et al. 1997; Mathews et al. 2002).

La metodología MFA ofrece indicadores de extracción, consumo y comercio de materiales. Algunas variantes (no incluidas en las estadísticas oficiales) suelen considerar los flujos indirectos o las “mochilas ecológicas” asociadas a la extracción de materiales (Schmidt-Bleek 1993). En origen fue planteada como una metodología para estimar el uso de materiales desde el lado de la producción (production-based approach), esto es, no recogía la huella material del consumo de un país, una información que ha ido cobrando cada vez más importancia y atención a medida que la globalización ha ido creciendo. En los últimos años han surgido propuestas para estimar el uso de materiales desde el punto de vista del consumo (consumption-based approach). Estas estimaciones ofrecen, no obstante, resultados poco fiables aún debido a los problemas

<sup>3</sup> La literatura suele hablar también de Material (or Energy) Flow Accounting. Aunque Accounting/Analysis su usan indistintamente la contabilidad es solo una etapa más del análisis tal y como explican Bringezu y Moriguchi (2002)

<sup>4</sup> Es posible identificar dos escuelas más, aunque con una influencia y una vinculación a la idea de MS más limitada y tangencial. En primer lugar, la del MI, también de tipo sectorial, en la que grupos como el Wuppertal Institute juegan un papel clave. Su interés, no obstante, está más centrado en estudiar la eficiencia productiva que en el estudio de las interacciones entre la sociedad y el medio ambiente. En segundo lugar, en el seno de la sociología norteamericana, la escuela de Oregón, de la que hablamos más abajo. En este caso no se ofrece una propuesta teórica o metodológica de MS sino que se hace uso de la analogía de forma transversal para estudios de diverso tipo.



metodológicos de estimar el consumo de materiales incorporado (embodied) en el comercio internacional (un resumen en Lutter et al. 2016). Además, estas estimaciones resultan sumamente complejas en estudios de largo plazo (Kander et al. 2017).

Para escalas análogas ha tenido notable importancia el estudio de la Human Appropriation of Net Primary Production (HANPP). Lanzado por Vitousek et al. (1986) ha sido un indicador recurrente para muchos estudiosos de MS. Permite caracterizar diferentes perfiles metabólicos estimando la fracción de la producción primaria neta apropiada por el ser humano frente aquella remanente en los ecosistemas, cumpliendo importantes funciones ecológicas.

La gran virtud de los estudios que utilizan indicadores MFA o de HANPP en escalas agregadas es su capacidad para identificar las grandes tendencias históricas y geográficas en el uso de recursos. El problema es que fallan a la hora de ofrecer información sobre el funcionamiento interno de la economía desde un punto de vista biofísico, además de hacer agregaciones de materiales que derivan en simplificaciones que impiden análisis complejos (Giampietro 2006). Para evitar la hipersimplificación de las propuestas citadas destaca la del MuSIASEM, que integra análisis de flujos pero también de fondos, considera diferentes variables y las interacciones entre ellas (efecto sudoku) (e.g., Giampietro et al. 2011). Resulta mucho más versátil y útil en la toma de decisiones. No obstante, es de difícil estimación por sus altos requerimientos de información (más aún en contextos históricos).

En el caso del Metabolismo Agrario (MA) encontramos adaptaciones MFA aplicadas a escalas agregadas (generalmente países). Algunos trabajos se han centrado en estudiar solo los flujos de biomasa de un territorio dado (Krausmann et al. 2008; Soto et al. 2016). Otros trabajos, por su parte, estudian el sistema agrario en su conjunto, incluyendo los insumos abióticos (Risku-Norja y Mäenpää 2007; Kuskova et al. 2008). Se han desarrollado y adaptado otras herramientas complementarias a los flujos de energía y

materiales que permiten una mejor caracterización de los sistemas agrarios. Destacan: i) los balances de nutrientes (Cunfer y Krasumann 2009; Garrabou y González de Molina 2010; García-Ruiz et al. 2012; Tello et al. 2012); y ii) el estudio de la eficiencia energética mediante el estudio integrado de un conjunto de EROI's (Energy Return on Investment) aplicados a la agricultura (Guzmán y González de Molina 2016; Tello et al. 2016). Estos indicadores se han aplicado principalmente a nivel local, aunque empiezan a aparecer trabajos a escalas estatales (e.g., Guzmán et al. 2017). También es usual encontrar estudios de largo plazo que tratan de documentar la transición industrial en la agricultura: desde manejos preindustriales a manejos industrializados. Estas herramientas ofrecen información muy valiosa para el estudio metabólico de los sistemas agrarios que los modelos MFA o MuSIASEM no proporcionan. También se han realizado propuestas para el estudio del agua desde una perspectiva sociometabólica que son sin duda de gran interés para el análisis de los sistemas agrarios (Madrid-López y Giampietro 2015).

De manera transversal, además de indicadores de energía, materiales y sustancias, algunos estudios de MS han incorporado otros indicadores auxiliares para cuantificar el uso del territorio. El más habitual ha sido el de la Huella Ecológica (HE) (Wackernagel y Rees 1996), que estima el área bioproductiva necesaria por una economía. Las crecientes críticas a este indicador han hecho que en los últimos años otras propuestas, como la Virtual Land o la Embodied Land, hayan ocupado una presencia mayor en los estudios sobre requerimientos de tierra. En este caso se mide la tierra "real" requerida por el consumo o el comercio de biomasa (Kastner et al. 2012; 2014). En el caso de la agricultura se ha diseñado el Land Cost of Agrarian Sustainability (LACAs). Analiza el coste territorial de la producción agraria bajo diferentes manejos: orgánicos, tradicionales, industriales, etc. (Guzmán y González de Molina 2009; Guzmán et al. 2011).



**Tabla 3.** Metodologías utilizadas directa o indirectamente en estudios de Metabolismo Social.

Ambito de análisis	Metodología
Análisis energéticos	Contabilidad del Flujo de Energía (EFA) Balances de Energía EROI (Energy Return on Investment) MuSIASEM Análisis del Ciclo de Vida (LCA)
Análisis de materiales	Contabilidad del Flujo de Materiales Apropiación Humana de la Productividad Primaria Neta (HANPP) Input Material por Unidad de Servicio (MIPS)
Sustancias	Contabilidad del Flujo de Sustancias (SFA)
Territorio	Huella Ecológica Tierra Virtual LACAs (Land Cost of Agrarian Sustainability)
Otros	Balances de carbono Agua Virtual Metabolismo Hídrico Balances de nutrientes

Fuente: elaboración propia.

La denominada rama del MI se caracteriza por el uso de herramientas que analizan la eficiencia productiva a nivel de producto o servicio, con metodologías como el Substance Flow Accounting (SFA), el Life Cycle Analysis (LCA) o el Material Inputs per Unit Service (MIPS). Todas ellas forman parte del amplio abanico de los MEFA aunque en rigor han resultado poco relevantes en los análisis sociometabólicos.<sup>5</sup> Han sido, más bien, herramientas auxiliares para estimar otros flujos sí integrados en estudios de MS. Por ejemplo, el LCA es clave para estimar la energy embodied en uso de insumos agrarios contabilizados en los EROIs (ver Aguilera et al. 2015).

#### 4. ¿Qué hemos aprendido? Principales contribuciones de la propuesta del Metabolismo Social

Hace ya tres décadas que empezaron a publicarse las primeras contribuciones sobre el metabolismo de las sociedades (cinco décadas si tenemos en cuenta los trabajos de metabolismo de las ciudades). Desde las

<sup>5</sup> Discrepamos en este sentido de algunos trabajos que sí consideran estas herramientas como aproximaciones o propuestas propias de los estudios de MS (Gerber y Scheidel 2018:189).

diferentes escuelas citadas y haciendo uso de diferentes herramientas metodológicas, se han generado resultados que han permitido mediar en importantes debates académicos y políticos. Los resumimos a continuación.

#### 4.1. Apropiación y uso de recursos

En el caso de los flujos de materiales han proliferado muchos estudios MFA a diferentes escalas temporales y territoriales. Han permitido reconstruir información del consumo de materiales con metodologías estandarizadas y con resultados comparables. En la actualidad contamos con información para todos los países del mundo en diferentes bases de datos entre las que destaca desde el punto de vista de la producción la de SERI (2008), con información desde 1980, y, desde el punto de vista del consumo, la de UNEP (2015), con información desde c. 1970. Otras muchas bases de datos ofrecen información MFA para períodos más recientes (EUROSTAT, OCDE, etc...).

En la actualidad resulta imposible hacer una revisión detallada de los trabajos que han realizado estimaciones MFA. En la Tabla 4 ofrecemos una selección de aquellos que añaden información para períodos anteriores a 1980. Encontramos estudios monográficos de varios países americanos, europeos y de la región Asia-Pacífico que empiezan su estudio en 1970. Para seis países (EEUU, Japón, Inglaterra, Checoslovaquia, España, Austria y la antigua URSS) contamos con reconstrucciones de más de un siglo de duración. Otros trabajos no incluidos en la Tabla 4 han estudiado la transición energética reconstruyendo series cuantitativas de largo plazo a escala internacional, aunque con una diferente metodología (v.gr. Grubler 2013; Kander et al. 2014).

¿Qué han aportado los resultados de todos estos estudios de caso a nuestro conocimiento sobre el consumo de recursos a escala global? En una perspectiva de largo plazo sabemos que el consumo general de recursos ha crecido rápidamente desde mediados del siglo XIX con la expansión de la





Revolución Industrial, aunque su gran aceleración ha tenido lugar a lo largo del siglo XX. Según el trabajo de Krausmann et al. (2009), en 1900 el consumo total de recursos era de 7,12 gigatoneladas (Gt). En 2009, había ascendido a 68,14 Gt (Figura 2a). Han crecido la extracción y el consumo de todos los tipos de recursos, especialmente los abióticos. En términos relativos, se revela una evidente transición hacia una economía de base inorgánica: en 1900, el 74% de los recursos consumidos eran biomasa. En el año 2009, estos solo representaban un 30%. En 1959, por primera vez, los recursos de abióticos fueron superiores a los bióticos (Figura 2c). Desde entonces, su cuota no ha dejado de crecer. En relación a otras variables sabemos que el crecimiento de recursos ha sido superior al de la población, que se ha multiplicado en el siglo XX por 4,4. Esto es, cada habitante consume hoy 2,2 veces más recursos que en 1900. No ocurre lo mismo en el caso del crecimiento económico. Este ha crecido a tasas muy superiores al consumo de recursos. Dicho de otra forma: la economía se ha desmaterializado en términos relativos (Figura 2a,b), aunque en términos absolutos el consumo ha seguido creciendo.

**Tabla 4.** Compendio de los principales trabajos MEFA.

<b>America</b>		
EEUU	1870-2005	Gierlinger y Krausmann (2012)
Argentina	1970-2009	Manrique et al. (2013)
Cuba	1970-2003	Eisenhut (2009)
Ecuador	1970-2006	Vallejo (2010)
México	1970-2003	González Martínez (2007)
Chile	1973-2000	Giljum (2004)
Colombia	1975-2007	Vallejo et al. (2011)
<b>Asia-Pacific</b>		
Australia	1970-2005	Schandl et al. (2008)
India	1961-2008	Singh et al. (2012)
Japón	1878-2005	Krausmann et al. (2011)
<b>Europa</b>		
Checoslovaquia	1830-2000	Kuskova et al. (2008)
Checoslovaquia	1855-2007	Kovanda y Hak (2011)
England	1855-1997	Schandl y Schulz (2002)
España	1860-2010	Infante-Amate et al. (2015)
España	1955-2000	Carpintero (2005)
Austria	1950-2000	Krausmann et al. (2004)

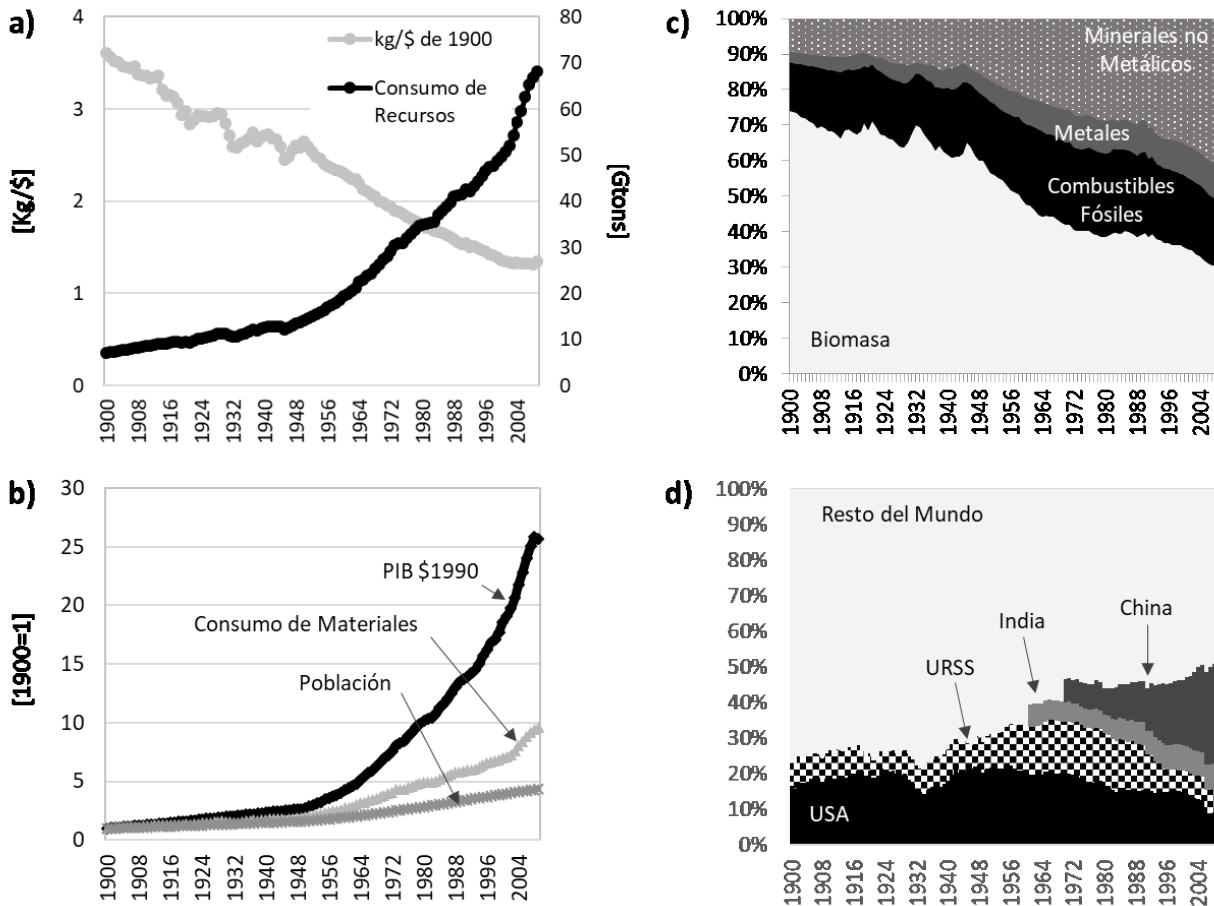
Finlandia	1970-1997	Mäenpää y Juutinen (2001)
Reino Unido	1970-2000	Sheerin y Branch (2002)
<b>Multinational</b>		
Mundial	1900-2009	Krausmann et al. (2009)
Former Soviet Union	1900-2000	Krausmann et al. (2016)
Asia-Pacífico (46 países)	1970-2005	Schandl y West (2010)
Australia, China y Japón	1970-2005	Schandl y West (2012)
Austria, Alemania, Japón, Holanda y Estados Unidos	1970-1994	Adriaanse et al. (1997) y Matthews et al. (2000)
Unión Europea - 15	1970-2001	Weisz et al. (2004)
Latinoamérica y Caribe (22 países)	1970-2008	West y Schandl (2013)

Fuente: elaboración propia.

La transición socio-metabólica presenta pautas regionales divergentes (Figura 2d). El consumo de recursos creció a medida que los países siguieron la senda de la industrialización empezada en Inglaterra (Kander et al. 2014). El desarrollo industrial se extendió por la Europa continental (Krausmann et al. 2008), así como por otros países como EEUU (Gierlinger y Krausmann 2011). La gran transformación global, empero, data de mediados del siglo XX, tras la Segunda Guerra Mundial, en lo que se ha venido a llamar el “Síndrome de los 50” (Pfister 2010) o “La Gran Aceleración” (Steffen et al. 2015). Desde 1970 algunos de los países industrializados han estabilizado su consumo de recursos, incluso con disminuciones per capita (Fischer-Kowalski y Swilling 2011, Wiedenhofer et al. 2013). Sin embargo, otras zonas del mundo como Latinoamérica (West y Schandl 2013) o la zona Asia-Pacífico (Schandl y West 2010) han multiplicado sus consumos desde tal período de forma que la tendencia global sigue siendo alcista (Valero y Naredo 1999; Krausmann et al. 2008). Este fenómeno se explica por un aumento del consumo en países en vías de industrialización, pero también por un desplazamiento de la huella material del consumo por parte de los países más ricos, cuya caída o estabilización en el consumo no solo se explica por mejoras de eficiencia en el consumo o la producción (Wiedmann et al. 2013).



**Figura 2.** a) Consumo de materiales mundial en miles de millones de toneladas (eje de la derecha) y tonelada consumida por unidad de PIB, medido en \$ de 1990. b) Consumo de materiales por grupo de producto, en porcentaje. c) Evolución del consumo de materiales (toneladas), PIB (\$ de 1990) y población, 1900=1. d) Consumo de materiales por países en porcentaje del consumo mundial.



Fuente: para el consumo de materiales basado en las referencias de la Tabla 2, especialmente en Krausmann et al. (2009). Para el PIB y la Población, Maddison (2014).

## 4.2. Desmaterialización

En 1990 apareció un influyente trabajo en *Scientific American* que parecía alentador (Goldemberg y Reddy 1990). Retomando ideas ya expuestas en los años setenta por Malenbaum (1978) los autores hacían notar que los países con mayores tasas de crecimiento estaban protagonizando un descenso en su intensidad energética, esto es, el uso de energía por unidad de PIB estaba cayendo. Apuntaban la existencia de un patrón análogo al descrito por Simon Kuznets en 1959 para el caso de las desigualdades económicas, pero, ahora, adaptado a la cuestión ambiental: en una

primera fase las economías tienden a mostrar una intensidad energética (o material) creciente, sin embargo, llegado un nivel de renta, se alcanza un punto de inflexión tras el cual la intensidad decrece. Dicho de otra forma: las economías podrían seguir creciendo haciendo un menor uso relativo de recursos.

El debate sobre la existencia de la Curva Ambiental de Kuznets (CAK) o sobre el turning point a partir del cual un nivel de renta permite reducir la presión ambiental, ha sido amplio en las dos últimas décadas. Las revisiones sobre el asunto parecen indicar que su existencia solo aparece en productos, zonas y marcos temporales específicos. Nunca como una generalidad (Dinda 2004).

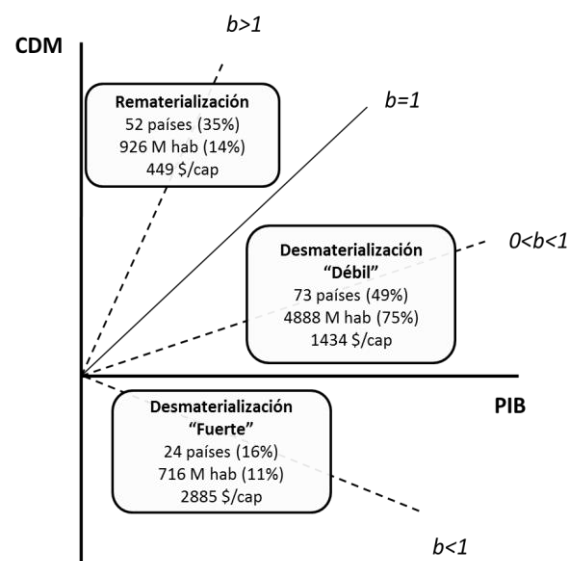


Una derivada de la CAK ha sido la relación entre crecimiento económico y consumo de recursos. Es una de las preguntas más repetidas en la literatura y ejerce como evidencia de sustentabilidad: ¿Es compatible el crecimiento económico con el consumo sostenible de recursos escasos? La proliferación de los trabajos MFA ha proporcionado información útil para estimar CAK en muchos casos desde una perspectiva material. La relación decreciente entre consumo de recursos y crecimiento económico ha sido estudiada en la literatura como desmaterialización (De Bruyn y Opschoor 1997) o decoupling (Fischer-Kowalski y Swilling 2011). Sin embargo, algunos autores señalaron que relacionar la presión ambiental al PIB tiene una utilidad relativa pues las dinámicas ecológicas operan ajenas a las crematísticas. Así, se terminó distinguiendo entre dos tipos de desmaterialización. Por un lado, la desmaterialización “débil o relativa”, que implica una reducción relativa del consumo de recursos respecto al crecimiento económico. Por otro, la “desmaterialización fuerte o absoluta” alude a una reducción en términos absolutos en el consumo de recursos (De Bruyn y Opschoor 1997; Cleveland y Ruth 1998). En relación al primer caso, se evidencia un proceso de “desmaterialización débil o relativa”. A fin de cuentas, la economía mundial se ha multiplicado por 25,7 mientras que el consumo de recursos lo ha hecho por 9,6. Sin embargo, sigue habiendo un proceso global de aumento en el consumo de recursos, cuya tasa anual de crecimiento sigue aumentando en las últimas décadas del siglo XX. En la Figura 2a mostramos la evolución decreciente de las toneladas de materiales consumidas por unidad de PIB y, también, la evolución creciente del consumo absoluto de recursos.

Un simple análisis estadístico en base a los datos del SERI (2008) y los datos de crecimiento económico de Maddison nos enseña que entre 1980 y 2010 solo 24 países, que representan un 11% de la población mundial, muestran una “desmaterialización fuerte”. Un total de 52 países que concentran el 14% de la población mundial muestran una rematerialización tanto

“absoluta” como “relativa”. El tercer grupo, el mayoritario, que reúne lo que ocurre en 73 países que concentran el 49% de la población mundial, revela una desmaterialización débil pero no una desmaterialización absoluta, esto es, su PIB crece a mayor ritmo que el consumo de recursos, pero el consumo de recursos sigue creciendo (Figura 3).

**Figura 3.** Análisis de la desmaterialización por países. Relación del Consumo Directo de Materiales y el PIB entre 1980 y 2008.



Fuente: Infante-Amate (2014).

Nota: Si  $b=1$ , el crecimiento del consumo de recursos es exactamente igual que el crecimiento económico. Si  $0 < b < 1$ , esto es, si el parámetro  $b$  está entre 0 y 1, nos informa de que existe un crecimiento en el consumo de recursos (rematerialización fuerte) pero a una tasa menor que el crecimiento económico (desmaterialización débil). Si  $b=0$ , el consumo de recursos se ha mantenido constante a lo largo del período estudiado y la economía ha crecido. Si  $b < 1$ , esto es, una pendiente negativa, hay un decrecimiento total del consumo de recursos.

A nivel regional se observa que las zonas del planeta cuyo consumo de recursos ha crecido más en relación a su PIB han sido Latinoamérica ( $b=0,85$ ), África ( $b=0,82$ ) y Asia ( $b=0,74$ ). Oceanía y Norteamérica crecen a menor ritmo, pero siguen mostrando un



crecimiento en el consumo de recursos. Europa es la única región que ha estabilizado su consumo. ¿Significa esto que los países europeos están desarrollando prácticas más eficientes de consumo y/o producción mientras que el resto del mundo expande su consumo? No exactamente, aunque los datos de consumo directo ofrecidos por las estadísticas MFA pueden llevar a esa equívoca conclusión que obvia que la huella material de los países del Norte Global sigue creciendo (e.g., Wiedmann et al. 2013; Infante-Amate 2014).

### 4.3. Intercambio Ecológico Desigual

Otro gran debate en el que los estudios sobre MS han contribuido aportando interesantes resultados ha sido el de las relaciones socio-ecológicas interterritoriales. Reciclando las ideas de los teóricos de la dependencia que acuñaron la idea de intercambio económico desigual, se sostiene que los países con mayores niveles de renta desplazan los impactos ambientales de su desarrollo económico a territorios con menor nivel de renta (Muradian y Alier 2001; York et al. 2003; Giljum y Eisenmenger 2004).

Una manera de testar la existencia del Intercambio Ecológico Desigual (IED) ha sido analizar el intercambio de materiales entre territorios, para lo que indicadores como las BCF resultan de gran utilidad. Las BCF se estiman como la diferencia entre las importaciones y las exportaciones de materiales. (También equivalen a la diferencia entre el consumo doméstico y la extracción doméstica). La hipótesis de partida es que los países más pobres deben tener un perfil de exportador neto de materiales, además de una retribución desfavorable por tonelada comercializada.

Numerosos trabajos que han hecho uso de las BCF sostienen que desde un punto de vista material la teoría del IED se cumple (e.g., Fischer-Kowalski y Amann 2001; Giljum y Eisenmenger 2004; Muradian y Alier 2001; Muñoz et al. 2011). El trabajo más elocuente es el de Dittrich y Bringezu (2010) en el que se estimaron las BCF para la mayor parte de países del mundo entre 1961 y 2005.

Confirman que los países más ricos muestran BCF positivas (exportadores netos) y viceversa (también ver Dittrich et al. 2011). Dicho de otra forma, existe un flujo de recursos neto desde el Sur global al Norte global. Obviamente existen notables excepciones como los casos de Australia, USA o Noruega, países ricos que son exportadores netos. Y viceversa. Nuevos trabajos están analizando con metodologías MFA los legados coloniales del IED, mostrando para el caso de Francia una fuerte influencia en época colonial que tendió a desvanecerse tras los procesos de independencia y al surgimiento de nuevos actores globales, principalmente en Asia (Infante-Amate y Krausmann, en revisión).

No obstante, hay que tener presente que el debate sobre el IED trasciende el mero flujo de materiales entre países. Para testar esta hipótesis es necesario tomar en consideración otros indicadores (Moran et al. 2013), no solo biofísicos (Martínez-Alier y Guha 1997; Hornborg 2001).

### 4.4. Conflictos ecológico-distributivos

Una parte de los conflictos sociales tienen su origen en el acceso y aprovechamiento de los recursos naturales tanto a escala local como global. Una parte de estos conflictos, y la protesta que generan, han sido abordados desde la perspectiva metabólica siendo denominados como “conflictos ecológico-distributivos” (Martínez-Alier y O’Connor 1996). Pese a que se pueden documentar manifestaciones de este tipo de conflictos desde la Antigüedad (Guha y Martínez-Alier 1997), en las décadas finales del siglo XX, la escasez de muchos recursos estratégicos ha generado tensiones frecuentes entre diferentes actores en relación a los derechos de extracción de los recursos o sobre quién padece efectos ambientales negativos. El crecimiento de este tipo de conflictividad ambiental se ha asociado por estos autores al aumento constante experimentado por el consumo de recursos, especialmente después de la II Guerra Mundial. Este aumento nunca visto ha sido puesto de manifiesto precisamente por las aplicaciones



de la metodología MFA a distintos países y sus relaciones biofísicas tal y como acabamos de ver. Ello ha servido para contradecir la idea desarrollada desde algunas corrientes sociológicas que asocian la protesta ambiental con preocupaciones propias de sociedades postmaterialistas o postindustriales, sociedades que aparentemente tienen sus necesidades básicas cubiertas (Inglehart 1997). De esa manera, los estudios sobre MS han permitido caracterizar tales conflictos en muchas zonas del mundo tanto “desarrolladas” como “en desarrollo”, dotando al estudio de los movimientos sociales —no sólo a los movimientos ambientales— de una sólida base analítica material (Guha y Martínez-Alier 1997; Martínez-Alier 2003; Martínez-Alier et al. 2010; Healy et al. 2013; González de Molina et al. 2016). En esta dirección el proyecto Environmental Justice Organizations, Liabilities and Trade (EJOLT) representa el mejor y más ambicioso proyecto de vinculación de conflictividad y análisis biofísicos<sup>6</sup> (e.g., Martínez-Alier et al. 2017).

#### 4.5. La transición socio-ecológica y los regímenes socio-metabólicos

La periodificación de la historia se ha establecido atendiendo a factores del cambio social o cultural. Sin embargo, también es posible establecer cronologías basadas en las relaciones del hombre con el medio ambiente. El metabolismo de una sociedad, esto es, la forma en que consume y procesa energía y materiales de su medio ambiente, ha dibujado pautas cambiantes y reconocibles en perspectiva histórica.

Tradicionalmente se han subrayado tres grandes períodos históricos atendiendo a la relación de la sociedad con la naturaleza: el de cazadores-recolectores, el campesino y el industrial (Simmons 1989; Siefertle 2001; Fischer-Kowalski y Haberl 1997, 2007; González de Molina y Toledo 2014). Las primeras sociedades fueron las de cazadores y recolectores, caracterizadas por un bajo

impacto sobre el medio, el consumo de productos silvestres y una baja apropiación de la Producción Primaria Neta (Boyden 1992). Hace aproximadamente 10 milenios se inició la transición a sociedades agrarias o campesinas mediante el desarrollo de la agricultura y la ganadería. El hombre domesticó plantas y animales y, con ello, diseñó una nueva forma de almacenar y consumir energía. Se colonizaron y se deforestaron territorios y aumentó la apropiación humana de biomasa. La segunda gran transición fue hacia la sociedad industrial, caracterizada por el uso masivo de recursos de origen inorgánico, así como por el desarrollo de tecnologías basadas en tales recursos. Esta transición supuso una profunda alteración en la apropiación y uso de los flujos energía y materiales. Desde una aproximación material de la historia se ha señalado la transición hacia el mundo industrial permitió romper las economías de estado estacionario y débil integración comercial a las que estaba sometido el mundo preindustrial (Wrigley 1990, 2010; Siefertle 2001). Muchos autores han estudiado tales limitantes señalando a las sociedades anteriores a los combustibles fósiles como organic economies (Wrigley 1990, 2010), controlled solar energy systems (Siefertle 2001), land-based energy systems (Fischer-Kowalski et al. 2007) o vegetable energy systems (Malanima 2006:102). Como quiera que sea, la evolución hacia el mundo industrial ha hecho que la especie humana se haya convertido en el principal agente de transformación ambiental, alentando la idea de una nueva era geológica: el Antropoceno (Steffen et al. 2015).

Esta perspectiva material de la historia ha hecho que muchos autores hayan propuesto nuevas cronologías en base a las cambiantes relaciones del hombre con el medio. Por ejemplo, se habla de ecological revolutions (Merchant 1987, 1989), means of transformation (Turner et al. 1993), means of using resources (Gadgil y Guha 1997), means of appropriation (Toledo 1995), means of subsistence (Fischer-Kowalski y Weisz 1999) y, también, socio-metabolic regimes (Krausmann et al. 2008; Siefertle 2001).

<sup>6</sup> Puede consultarse en <http://www.ejolt.org/>. Un atlas en lque se documentan casi 1500 conflictos se encuentra <http://ejatlas.org/> (última consulta el día 12 de marzo de 2016).



**Tabla 5.** Perfil metabólico de las tres grandes formas de relación sociedad -naturaleza.

	Unidad	Cazadores-Recolectores	Sociedades Agrarias	Sociedad Industrial
Uso de energía total por habitante	[GJ/hab/año]	10-20	40-70	150-400
Uso de materiales por habitante	[t/hab/año]	0,5-1	3-6	15-25
Densidad poblacional	[hab/km <sup>2</sup> ]	0,02-0,1	<40	<400
Población agrícola	[%]	-	>80	<10
Uso de energía total por superficie	[GJ/ha/año]	<0,01	<30	<600
Uso de materiales por superficie	[t/ha/año]	<0,001	<2	<50
Biomasa sobre el consumo de energía total	[%]	>99	>95	10-30

Fuente: Haberl et al. (2011).

Una de las principales aportaciones del MS ha sido la de caracterizar con una sólida base cuantitativa los perfiles metabólicos a lo largo de la historia, esto es, cuantificar con más rigor las interacciones hombre-naturaleza. En términos de consumo de materiales y energía, densidad poblacional, porcentaje de uso de la biomasa, población agrícola o productividad de la tierra es posible identificar patrones históricos de manera más robusta (e.g., Fischer-Kowalski y Haberl 1997) incluso permitiendo lecturas sociometabólicas de la transición al Antropoceno (Fischer-Kowalski et al. 2014) (Tabla 5).

#### 4.6. La historia de las sociedades humanas

En términos historiográficos el MS ha contribuido decisivamente a replantear algunos debates sobre el pasado de la humanidad. El siglo XX fue el siglo del “todo es sociedad”, al decir de Ulrich Beck (2002). Los factores económicos –de mercado- o culturales se impusieron a las tradicionales visiones que ponían el acento en la base material como motor explicativo del proceso histórico. Para los economistas, el factor tierra desapareció de la famosa tríada tierra-capital-trabajo. Así, la historia económica ha centrado sus análisis en la esfera monetaria dejando de lado la base material de los procesos económicos (Naredo 1987). Los cultural studies, yendo más lejos, fiaron las principales explicaciones del cambio histórico a la esfera cultural, que aparecía no solo como motor del cambio sino como base interpretativa del mismo (la percepción como condicionante del relato). La historiografía del siglo XX perdió materialidad.

Sin embargo, más allá del viraje interpretativo, las sociedades pasadas seguían estando insertas en un universo material que condicionaba no solo el sustento sino el desarrollo exosomático. En contextos preindustriales estaban caracterizadas por fuertes limitantes para establecer fluidas redes comerciales (Fischer-Kowalski et al. 2013), lo que las obligaba a una integración de usos del suelo para obtener la mayor parte de sus recursos (González de Molina 2010). El comercio global se ceñía a periodos anteriores al XIX a las preciosities, productos de poco peso y mucho valor crematístico (Martínez-Alier 2007). La imposibilidad de importar cantidades significativas de nutrientes y energía hacían que estuvieran abocadas a un estado estacionario (Wrigley 1990). Por otro lado, el sustento cotidiano no dependía de bienes mercantilizados, sino que se completaba con la apropiación de una amplia gama de productos que no aparecen en las estadísticas oficiales y por tanto suelen ser obviados por los historiadores económicos (Dyer 1998; Infante-Amate 2012).

El MS ha servido para comprender mejor estos limitantes, así como la manera en la que condicionaron el crecimiento de sociedades tradicionales (Sieferle 2001; González de Molina 2002; Cussó et al. 2006). También ha servido para caracterizar crisis productivas en el pasado (Infante-Amate et al. 2014; Villa 2017). Estudios sobre el manejo de la fertilidad de la tierra en la Península Ibérica, Europa Central y los Great Plains de Norteamérica (Cunfer y Krausmann 2009; Garrabou y González de Molina 2010), se ha puesto de manifiesto que la crisis finisecular fue también provocada por el dumping ambiental del norte de América, que podía



ofrecer de manera más eficiente granos al nuevo mundo al estar colonizando una frontera agrícola con suelos muy fértiles. Se han ofrecido nuevas interpretaciones sobre el pretendido retraso productivo de las agriculturas secas (González de Molina 2002) o el carácter de la especialización agraria del Mediterráneo (Infante-Amate 2012) en los últimos dos siglos. Todos estos debates se habían resuelto en base a explicaciones crematísticas, culturales o institucionales propias de la historia económica o la historia cultural. Las herramientas del MS han proporcionado nuevos argumentos de base biofísica para releer algunos debates historiográficos.

#### 4.7. El metabolic rift y la historia del capitalismo

Dentro del amplio espectro analítico que cubre aproximación del MS, una idea con importante presencia en las ciencias sociales, especialmente entre la sociología y la antropología norteamericana, ha sido la del Metabolic Rift. En el siglo XIX buena parte de la química agrícola, entre la que destacó Justus von Liebig, alertó de la pérdida de fertilidad de los suelos en buena medida debido a las transferencias de nutrientes del campo a la ciudad. Karl Marx, según ha documentado Foster (1999), prestó un gran interés a tales trabajos, hasta el punto de señalar la Revolución agrícola y el surgimiento del capitalismo agrario como una suerte de “brecha metabólica” mediante la cual las nuevas relaciones socioeconómicas estaban causando una creciente degradación ambiental. Foster, junto con otros colegas de la llamada “Escuela de Oregón”, retomaron la idea, vinculada en principio a los cambios agrarios decimonónicos, para elaborar una teoría mucho más amplia de la evolución capitalista en clave ecológica. Sus aportaciones han combinado análisis teóricos (Foster 1999, 2016) con una sólida evidencia empírica (York et al. 2003; Jorgenson y Burns 2007; Jorgenson y Clark 2011) en los que tratan de explicar la íntima asociación entre capitalismo y degradación ambiental, entendiendo tal proceso como una “brecha metabólica” iniciada con el surgimiento del

capitalismo. En la misma dirección, otros autores como Jason W. Moore sostienen que el capitalismo no es solo un sistema que provoca un régimen ecológico específico, sino que es un régimen ecológico en sí mismo caracterizado por la degradación y la desigualdad persistentes. Esta interpretación le ha servido de base para plantear la noción, cada vez más extendida, de “Capitaloceno” (Moore 2014). Sus contribuciones han sido de interés no solo para contextualizar y caracterizar los procesos de IEE sino para explicar las causas de este fenómeno.

#### 5. Conclusiones

El concepto de MS tiene sus orígenes en el siglo XIX. Desde esa fecha apareció, en diferentes disciplinas, como una metáfora de la noción biológica de metabolismo. Se utilizó de manera poco articulada y fragmentaria con fines diversos: desde el análisis de la movilidad social hasta el estudio de los procesos de urbanización. En la década de los noventa del siglo XX se formalizó el concepto en el marco de los estudios socioambientales, retomando las obras de los fundadores de la Economía Ecológica, para crear un corpus teórico y metodológico propio. De un tiempo a esta parte, ha contado con un indudable éxito entre numerosas disciplinas que lo han adaptado con objetivo común: comprender mejor las interacciones biofísicas de las sociedades con el medio ambiente. Cómo abordar metodológicamente este asunto ha hecho que se hayan desarrollado nuevas herramientas ex professo para la contabilización de los flujos de energía y materiales. Sin embargo, también ha sido habitual reciclar propuestas ya existentes (balances de energía, balances de nutrientes...) así como otros indicadores de sustentabilidad e impacto ambiental más recientes con importante poder explicativo para caracterizar perfiles sociometabólicos (como la Huella Ecológica, por ejemplo).

La reciente profusión de su uso ha hecho que la propia noción de MS, así como las diferentes herramientas metodológicas utilizadas, hayan derivado en una cierta indefinición: bajo el apelativo de MS se



integran análisis tan diversos como la historia de los sistemas agrarios, los conflictos ambientales o la desmaterialización de la economía. La buena noticia es que todos ellos tienen algo en común: el interés por comprender la base biofísica de los procesos sociales, lo que ha generado un corpus tanto teórico como empírico muy abundante e innovador. Un objetivo de este trabajo era el de resumir las principales contribuciones aludiendo a debates que han salido reforzados y que incluyen: el intercambio ecológico desigual, la caracterización de sociedades campesinas, las relaciones entre el consumo de recursos y el crecimiento económico o las transiciones históricas en el largo plazo. La mala noticia es que bajo el amplio paraguas que representa el MS, las aproximaciones al mismo llegan a presentar evidentes divergencias no solo metodológicas sino epistemológicas: ¿es el MS una nueva teoría del cambio social o simplemente un elegante arsenal de metodologías socio-ecológicas? En futuros trabajos queremos dar respuesta a esta pregunta analizando críticamente las diferentes aproximaciones y escuelas del MS. También queremos utilizar este balance -sobre su pasado- para discutir cuáles pueden o deben ser las estrategias futuras para seguir haciendo del MS una herramienta útil y versátil para las disciplinas híbridas, la investigación transdisciplinar y el pensamiento complejo.

## 6. Bibliografía

Adriaanse, A., Bringezu, S., Hammond, A., Moriguchi, Y., Rodenburg, E., Rogich, D., y Schütz, H., 1997. *Resource flows: the material basis of industrial economies*. World Resources Institute, Washington.

Aguilera, E., Guzmán Casado, G., Infante-Amate, J., Soto Fernández, D., García-Ruiz, R., Herrera, A., Villa, I., Torremocha, E., Carranza, G. y González de Molina, M., 2015. *Embodied energy in agricultural inputs. Incorporating a historical perspective*. Working Papers Sociedad Española de Historia Agraria, 15-14.

Ayres, R. U. y Ayres, L. W. (eds), 2002. *A handbook of industrial ecology*. Edward Elgar Publishing, Massachusetts.

Ayres, R. U. y Kneese, A.V., 1969. *Production, consumption, and externalities*. *The American Economic Review* 6: 282-297.

Ayres, R. U., 1989. *Industrial metabolism*, en Ausubel, J. y Sladovich, H. (eds) *Technology and environment*. National Academy Press, Washington, pp. 23-49.

Baccini, P. y Brunner, P.H., 1991. *Metabolism of the Anthroposphere*. Springer, Heidelberg.

Beck, U., 2002. *La sociedad del riesgo global. Siglo XXI*, Madrid.

Boulding, K. E., 1966. *Economic analysis*. Harper & Row, New York.

Boulding, K. E., 1978. *Ecodynamics. A new theory of societal evolution*. Sage Pub, California.

Boyden, S.V., 1992. *Biohistory: The Interplay Between Human Society and the Biosphere - Past and Present*. Unesco, Paris.

Bringezu, S., 1993. *Towards increasing resource productivity: How to measure the total material consumption of regional or national economies*. *Fresenius Environmental Bulletin* 2(8): 437-442.

Bringezu, S., Fischer-Kowalski, M., Kleijn, R. y Palm, V., 1998a. *Analysis for action: Support for policy towards sustainability by material flow accounting*. Proceedings of the Conaccount Conference. Wuppertal Institute, Wuppertal.

Bringezu, S., Fischer-Kowalski, M., Kleijn, R. y Palm, V., 1998b. *The ConAccount agenda: The concerted action on material flow analysis and its agenda for research and development*. Wuppertal Institute, Wuppertal.

Bringezu, S., Fischer-Kowalski, M., Kleijn, R. y Palm, V., 1997. *Analysis for action: support for policy towards sustainability by material flow accounting*. Proceedings of the ConAccount Conference. Wuppertal Institute, Wuppertal.

Bringezu, S. y Moriguchi, Y., 2002. *Material flow analysis*, en Ayres, R. U. y Ayres, L. W.,





A handbook of industrial ecology. Edward Elgar Publishing, Massachusetts, pp. 79-90.

Burgess, E.W., 1967. *The growth of the city: an introduction to a research project*. Ardent Media.

Carpintero, O., 2005. *El metabolismo de la economía española. Recursos naturales y huella ecológica (1995-2000)*. Fundación César Manrique, Lanzarote.

Cleveland, C.J. y Ruth, M., 1998. Indicators of dematerialization and the materials intensity of use. *Journal of Industrial Ecology* 2(3): 15-50.

Cunfer, G. y Krausmann, F., 2009. Sustaining soil fertility: Agricultural practice in the Old and New Worlds. *Global Environment* 4: 8-47.

Cussó, X., Garrabou, R. y Tello, E., 2006. Social metabolism in an agrarian region of Catalonia (Spain) in 1860–1870: flows, energy balance and land use. *Ecological Economics* 58(1): 49-65.

Daly, H., 1973. *Toward A Steady Estate Econmy*. W.H. Freeman, San Francisco.

De Bruyn, S.M. y Opschoor, J.B., 1997. Developments in the throughput-income relationship: theoretical and empirical observations. *Ecological Economics* 20(3): 255-268.

Dinda, S., 2004. Environmental Kuznets Curve Hypothesis: A Survey. *Ecological Economics* 49(4): 431-455.

Dittrich, M., Bringezu, S. y Schütz, H., 2012. The physical dimension of international trade, part 2: Indirect global resource flows between 1962 and 2005. *Ecological Economics* 79: 32-43.

Dittrich, M., y Bringezu, S., 2010. The physical dimension of international trade: Part 1: Direct global flows between 1962 and 2005. *Ecological Economics* 69(9): 1838-1847.

Dyer, C., 1998. La historia de los niveles de vida en Inglaterra, 1200-1800. Problemas y enfoques. *Historia Agraria* 16: 101-117.

Eisenhut, S., 2009. *National Material Flow Analysis: Cuba*. Master Thesis, Vienna.

Eurostat, 2001. *Economy-wide material flow accounts and derived indicators: A methodological guide*. Eurostat, European Commission, Luxembourg.

Fischer-Kowalski, M. y Haberl H., 1997. Tons, joules and money: modes of production and their sustainability problems. *Society and Natural Resources* 10(1): 61–85.

Fischer-Kowalski, M. y Haberl, H. (eds), 2007. *Socioecological transitions and global change: Trajectories of social metabolism and land use*. Edward Elgar Publishing, Massachusetts.

Fischer-Kowalski, M. y Hüttler, W., 1998. Society's metabolism. The Intellectual History of Materials Flow Analysis, Part II, 1970-1998. *Journal of Industrial Ecology* 2(4): 107-136

Fischer-Kowalski, M. y Swilling, M., 2011. *Decoupling: natural resource use and environmental impacts from economic growth*. United Nations Environment Programme.

Fischer-Kowalski, M. y Weisz, H., 1999. Society as hybrid between material and symbolic realms. *Advances in Human Ecology* 8: 215-251.

Fischer-Kowalski, M., Krausmann, F. y Smetschka, B., 2013. Modelling transport as a key constraint to urbanisation in pre-industrial societies, en Singh, S. J., Haberl, H., Schmid, M., Mirtl, M. y Chertow, M. Long term socio-ecological research. *Studies in Society: Nature Interactions Across Spatial and Temporal Scales*. Springer, New York, pp. 77-101.

Fischer-Kowalski, M., 1997. Society's metabolism: on the childhood and adolescence of a rising conceptual star, en Redclift, M. y Goodgate, W. (ed) *The international handbook of environmental sociology*, Edward Elgar, Massachusetts.

Fischer-Kowalski, M., 1998. Society's Metabolism. The Intellectual History of Materials Flow Analysis, Part I, 1860– 1970. *Journal of Industrial Ecology* 2: 61-78.

Fischer-Kowalski, M., 2002. Exploring the history of industrial metabolism, en Ayres, R. U. y Ayres, L. W. (eds) *A handbook of*



industrial ecology. Edward Elgar Publishing, Massachusetts, p. 16-26.

Fischer-Kowalski, M., Krausmann, F. y Pallua, I., 2014. A sociometabolic reading of the Anthropocene: Modes of subsistence, population size and human impact on Earth. *The Anthropocene Review* 1: 8-33.

Fischer-Kowalski, M., y Amann, C., 2001. Beyond IPAT and Kuznets curves: globalization as a vital factor in analysing the environmental impact of socio-economic metabolism. *Population and Environment* 23(1): 7-47.

Fischer-Kowalski, M., y Haberl, H., 1993. Metabolism and colonization. Modes of production and the physical exchange between societies and nature. *Innovation: The European Journal of Social Science Research* 6(4): 415-442.

Foster, J. B., y Burkett, P., 2016. *Marx and the Earth: An Anti-Critique*. Brill, Boston.

Foster, J.B., 1999. 'Marx's theory of metabolic rift: Classical foundations for environmental sociology'. *American Journal of Sociology* 105(2): 366-405

Gadgil, M. y Guha, R., 1993. *This Fissured Land: An Ecological History of India*. Oxford University Press, Oxford.

García-Ruiz, R., González de Molina, M., Guzmán, G., Soto, D. e Infante-Amate, J., 2012. Guidelines for Constructing Nitrogen, Phosphorus, and Potassium Balances in Historical Agricultural Systems. *Journal of Sustainable Agriculture* 36(6): 650-682.

Garrabou, R. y González de Molina, M., 2010. La reposición de la fertilidad en los sistemas agrarios tradicionales. *Icaria*, Barcelona.

Georgescu-Roegen, N., 1971. *The entropy law and the economic process*. Harvard University Press, Massachusetts.

Gerber, J. F. y Scheidel, A., 2018. In Search of Substantive Economics: Comparing Today's Two Major Socio-metabolic Approaches to the Economy—MEFA and MuSIASEM. *Ecological Economics* 144: 186-194.

Giampietro, M., 2006. Comments on "The energetic metabolism of the European Union and the United States" by Haberl and colleagues: Theoretical and practical considerations on the meaning and usefulness of traditional energy analysis. *Journal of Industrial Ecology* 10(4): 173-185.

Giampietro, M. y Mayumi, K., 2000. Multiple-scale integrated assessments of societal metabolism: integrating biophysical and economic representations across scales. *Population and Environment* 22(2): 155-210.

Giampietro, M., Mayumi, K. y Martínez-Alier, J., 2000. Introduction to the special issues on societal metabolism: Blending new insights from complex system thinking with old insights from biophysical analyses of the economic process. *Population & Environment* 22(2): 97-108.

Giampietro, M., Mayumi, K. y Sorman, A. H., 2011. *The metabolic pattern of societies: where economists fall short*. Routledge, London.

Gierlinger, S. y Krausmann, F., 2012. The Physical Economy of the United States of America. *Journal of Industrial Ecology* 16(3): 365-377.

Giljum, S. y Eisenmenger, N., 2004. North-South trade and the distribution of environmental goods and burdens: a biophysical perspective. *The Journal of Environment & Development* 13(1): 73-100.

Giljum, S., 2004. Trade, materials flows, and economic development in the South: the example of Chile. *Journal of Industrial Ecology* 8(1- 2): 241-261.

González de Molina, M. y Toledo, V.M., 2011. *Metabolismos, naturaleza e historia. Una teoría de las transformaciones socio-ecológicas*. Icaria, Barcelona.

González de Molina, M. y Toledo, V.M., 2014. *The Social Metabolism. A Socio-Ecological Theory of Historical Change*. Springer, New York.

González de Molina, M., 2002. Environmental constraints on agricultural growth on 19th century Granada (Southern Spain). *Ecological Economics* 41: 257-270.



González de Molina, M., 2010. A guideline to studying the socio-ecological transition in European agriculture, *Sociedad Española de Historia Agraria. Documentos de Trabajo SEHA. DT-SEHA*, N. 10-06.

González de Molina, M., Soto Fernández, D. y Garrido Peña, F., 2016. Los conflictos ambientales como conflictos sociales. Una mirada desde la ecología política y la historia. *Ecología Política* 50: 31-38.

González Martínez, A.C., 2007. Material flow accounting of Mexico (1970-2003). Sources and methods (No. 2007-01). Universitat Autònoma de Barcelona, Departament d'Economia i Història Econòmica, Unitat d'Història Econòmica.

Greer, S. A., 1962. *The emerging city: Myth and reality*. Transaction Books.

Grubler, A., 2013. Energy transitions, en Cleveland, C.J. (ed) *Encyclopedia of Earth. Energy*.

<http://www.eoearth.org/view/article/152561> (última consulta el 13 de marzo de 2015).

Guha, R., y Martínez-Alier, J., 1997. *Varieties of environmentalism: essays North and South*. Earthscan Publications, London & New York.

Guzmán, G. I. y González de Molina, M., 2017. *Energy in Agroecosystems: A Tool for Assessing Sustainability*. CRC Press, Boca Raton.

Guzmán, G.I. y González de Molina, M., 2009. Preindustrial agriculture versus organic agriculture: The land cost of sustainability. *Land Use Policy* 26(2): 502-510.

Guzmán, G.I., González de Molina, M. y Alonso, A., 2011. The land cost of agrarian sustainability. An assessment. *Land Use Policy* 28(4): 825-835.

Haberl, H., Fischer-Kowalski, M., Krausmann, F., Martínez-Alier, J., y Winiwarter, V., 2011. A Socio-metabolic Transition towards Sustainability? Challenges for Another Great Transformation. *Sustainable Development* 19: 1-14.

Hartshorne, E.Y., 1940. Metabolism Indices and the Annexation of Austria: A Note on Method. *American Journal of Sociology* 45(6): 899-917.

Healy, H., Martínez-Alier, J., Temper, L., Walter, M., y Gerber, J.F. (eds), 2013. *Ecological Economics from the Ground Up*. Routledge, London.

Hornborg, A., 2001. *The power of the machine: Global inequalities of economy, technology, and the environment*. Rowman Altamira, Oxford.

Infante-Amate, J., 2014. La desmaterialización de la economía mundial a debate. Consumo de recursos y crecimiento económico (1980-2008). *Revista de Economía Crítica* 60, 60-81.

Infante-Amate, J., 2012. The Ecology and History of the Mediterranean Olive Grove: The Spanish Great Expansion, 1750-2000. *Rural History* 23(02): 161-184.

Infante-Amate, J., González de Molina, M., Vanwalleghem, T., Soto, D. y Gómez, J.A., 2014. Reconciling Boserup with Malthus. Agrarian Change and Soil Degradation in Olive Orchards in Spain (1750-2000), en Fischer-Kowalski, M. (ed.), *Ester Boserup's Legacy on Sustainability: Orientations for Contemporary Research*. Springer, New York, pp. 99-116.

Infante-Amate, J., Soto, D., Aguilera, E., García-Ruiz, R., Guzmán, G., Cid, A. y González de Molina, M., 2015. The Spanish Transition to Industrial Metabolism. Long-Term Material Flow Analysis (1860-2010). *Journal of Industrial Ecology*.

Infante-Amate, J. y Krausmann, F., en revisión. Trade, Ecologically Unequal Exchange and Colonial Legacy: The Case of France.

Inglehart, R., 1997. *Modernization and postmodernization: Cultural, economic, and political change in 43 societies*. Princeton University Press, Princeton.

JEA, Japan Environment Agency, 1992. *Quality of the environment in Japan 1992*. Japan Environment Association, Tokyo

Jorgenson, A.K. y Burns, T.J., 2007. The political-economic causes of change in the ecological footprints of nations, 1991–2001: a quantitative investigation. *Social Science Research* 36(2): 834-853.



- Jorgenson, A.K. y Clark, B., 2011. Societies consuming nature: a panel study of the ecological footprints of nations, 1960–2003. *Social Science Research* 40(1): 226-244.
- Kander, A., Malanima, P. y Warde, P., 2014. *Power to the People: Energy in Europe over the Last Five Centuries*. Princeton University Press, Princeton.
- Kander, A., Warde, P., Henriques, S. T., Nielsen, H., Kulionis, V. y Hagen, S., 2017. International trade and energy intensity during European industrialization, 1870–1935. *Ecological Economics* 139: 33-44.
- Kastner, T., Erb, K. H. y Haberl, H., 2014. Rapid growth in agricultural trade: effects on global area efficiency and the role of management. *Environmental Research Letters* 9(3): 034015.
- Kastner, T., Rivas, M. J. I., Koch, W. y Nonhebel, S., 2012. Global changes in diets and the consequences for land requirements for food. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 109(18): 6868-6872.
- Kovanda, J., y Hak, T., 2011. Historical perspectives of material use in Czechoslovakia in 1855–2007. *Ecological Indicators* 11(5), 1375-1384.
- Krausmann, F., Fischer-Kowalski, M., Schandl, H. y Eisenmenger, N., 2008. The global sociometabolic transition. *Journal of Industrial Ecology* 12(5- 6): 637-656.
- Krausmann, F., Gaugl, B., West, J. y Schandl, H., 2016. The metabolic transition of a planned economy: Material flows in the USSR and the Russian Federation 1900 to 2010. *Ecological Economics* 124: 76-85.
- Krausmann, F., Gingrich, S. y Nourbakhch- Sabet, R., 2011. The Metabolic Transition in Japan. *Journal of Industrial Ecology* 15(6): 877-892.
- Krausmann, F., Gingrich, S., Eisenmenger, N., Erb, K. H., Haberl, H. y Fischer-Kowalski, M., 2009. Growth in global materials use, GDP and population during the 20th century. *Ecological Economics*, 68(10): 2696-2705.
- Krausmann, F., Haberl, H., Erb, K. H. y Wackernagel, M., 2004. Resource flows and land use in Austria 1950–2000: using the MEFA framework to monitor society–nature interaction for sustainability. *Land Use Policy* 21(3): 215-230.
- Kuskova, P., Gingrich, S., Krausmann, F., 2008. Long term changes in social metabolism and land use in Czechoslovakia, 1830–2000: an energy transition under changing political regimes. *Ecological Economics* 68(1): 394-407.
- Lutter, S., Giljum, S. y Bruckner, M., 2016. A review and comparative assessment of existing approaches to calculate material footprints. *Ecological Economics* 127: 1-10.
- Maddison, A. 2014. *Statistics on World Population, GDP and Per Capita GDP, 1-2008* AD. <http://www.ggdc.net/maddison/oriindex.htm>
- Madrid- López, C. y Giampietro, M., 2015. The Water Metabolism of Socio- Ecological Systems: Reflections and a Conceptual Framework. *Journal of Industrial Ecology* 19(5): 853-865.
- Mäenpää, I. y Juutinen, A., 2001. Materials flows in Finland: Resource use in a small open economy. *Journal of Industrial Ecology* 5(3): 33-48.
- Malanima, P., 2006. Energy crisis and growth 1650-1850: the European deviation in a comparative perspective. *Journal of Global History* 1: 101-121.
- Malenbaum, W., 1978. *World demand for raw materials in 1985 and 2000*. McGraw Hill, New York.
- Manrique, P.L., Brun, J., González- Martínez, A.C., Walter, M., y Martínez- Alier, J., 2013. The Biophysical Performance of Argentina (1970–2009). *Journal of Industrial Ecology* 17: 590-604.
- Martínez-Alier, J. y O'Connor, M. 1996. *Ecological and Economic Distribution Conflicts*, en Costanza, R. Segura, O. y Martínez-Alier, J. (eds) *Getting Down to Earth- Practical Applications of Ecological Economics*. Island Press, Washington, pp. 153-184.
- Martínez-Alier, J., 1987. *Ecological Economics: Energy, Environment and Society*. Blackwell, Oxford.



Martínez-Alier, J., 2003. The environmentalism of the poor: a study of ecological conflicts and valuation. Edward Elgar Publishing, Massachusetts.

Martínez-Alier, J., 2007. Marxism, Social Metabolism, and International Trade, en Hornborg, A., Martínez-Alier, J.M. y McNeill, J.M. (eds) Rethinking environmental history: world-system history and global environmental change. Altamira Press, Plymouth, pp. 221-238.

Martínez-Alier, J., Kallis, G., Veuthey, S., Walter, M. y Temper, L., 2010. Social metabolism, ecological distribution conflicts, and valuation languages. *Ecological Economics* 70(2): 153-158.

Martínez-Alier, J., Temper, L., Walter, M. y Demaria, F., 2017. Social Metabolism and Ecological Distribution Conflicts in India and Latin America. *Green Economy Reader* 311-332.

Matthews, E. y Hutter, C. (eds), 2000. The weight of nations. World Resources Institute, Washington

Merchant, C., 1987. The theoretical structure of ecological revolutions. *Environmental Review* 11: 265-274.

Merchant, C., 1989. *Ecological Revolutions: nature, gender and science in New England*. University of North Carolina Press, North Carolina.

Moore, J.W., 2014. *The Capitalocene, Part I: On the Nature and Origins of Our Ecological Crisis*. Binghamton University Fernand Braudel Center.

Moran, D.D., Lenzen, M., Kanemoto, K. y Geschke, A., 2013. Does ecologically unequal exchange occur? *Ecological Economics* 89: 177-186.

Muñoz, P., Giljum, S. y Roca, J., 2009. The raw material equivalents of international trade. *Journal of Industrial Ecology*, 13(6): 881-897.

Muradian, R. y Martínez-Alier, J., 2001. South–North materials flow: history and environmental repercussions. *Innovation: The European Journal of Social Science Research* 14(2): 171-187.

Naredo, J. M., 1987. *La economía en evolución: historia y perspectivas de las categorías básicas del pensamiento económico*. Siglo XXI, Madrid.

Odum, E., 1969. The strategy of ecosystems development. *Science* 164: 262-270.

Park, R.E., 1926. The concept of position in sociology. *Publications of the American Sociological Society* 20: 1-14.

Pauliuk, S. y Hertwich, E. G., 2015. Socioeconomic metabolism as paradigm for studying the biophysical basis of human societies. *Ecological Economics* 119: 83-93.

Pfister, C., 2010. The “1950s syndrome” and the transition from a slow-going to a rapid loss of global sustainability, en Uekoetter, F. (ed) *The Turning Points of Environmental History*, University of Pittsburgh Press, Pittsburg.

Reddy, A.K. y Goldemberg, J., 1990. Energy for the developing world. *Scientific American*, 263(3): 110-18.

Risku-Norja, H. y Mäenpää, I., 2007. MFA model to assess economic and environmental consequences of food production and consumption. *Ecological Economics*, 60(4), 700-711.

Ryder, N.B., 1965. The Cohort as a Concept in the Study of Social Change. *American Sociological Review* 30: 843-861.

Sarkar, B.K., 1937. Social Metabolism in Its Bearings on Progress. *Social Forces* 16: 169-177.

Schandl, H. y Schulz, N., 2002. Changes in the United Kingdom's natural relations in terms of society's metabolism and land-use from 1850 to the present day. *Ecological Economics* 41(2): 203-221.

Schandl, H. y West, J., 2010. Resource use and resource efficiency in the Asia–Pacific region. *Global Environmental Change* 20(4): 636-647.

Schandl, H. y West, J., 2012. Material flows and material productivity in China, Australia, and Japan. *Journal of Industrial Ecology* 16(3): 352-364.

Schandl, H., Poldy, F., Turner, G.M., Measham, T.G., Walker, D. H. y



- Eisenmenger, N., 2008. Australia's resource use trajectories. *Journal of Industrial Ecology* 12(5- 6): 669-685.
- Schmidt, A., 1971. *Der Begriff der Natur in der Lehre von Marx*. Europäische Verlagsanstalt, Frankfurt.
- Schmidt-Bleek, F., 1993. MIPS. A universal ecological measure? *Fresenius Environmental Bulletin* 2(6): 306-311.
- SERI, 2008. The online portal for material flow data. <http://www.materialflows.net/data/datadownload/> (última consulta, 13 de marzo de 2015).
- Sheerin, C. y Branch, E.A., 2002. UK material flow accounting. *Economic Trends* 583: 53-61.
- Sieferle, R.P., 2011. Cultural evolution and social metabolism. *Geografiska Annaler: Series B, Human Geography* 93(4): 315-324.
- Sieferle, R.P., 2001. *The subterranean forest: energy systems and the industrial revolution*. White Horse Press, Cambridge.
- Simmons, I.G., 2008. *Global Environmental History 1000 BC to AD 2000*. Edinburgh University Press, Edinburgh.
- Singh, S. J., Haberl, H., Schmid, M., Mirtl, M. y Chertow, M. (eds), 2013. Long term socio-ecological research. *Studies in Society: Nature Interactions Across Spatial and Temporal Scales*. Springer, New York.
- Singh, S. J., Krausmann, F., Gingrich, S., Haberl, H., Erb, K. H., Lanz, P. y Temper, L., 2012. India's biophysical economy, 1961–2008. Sustainability in a national and global context. *Ecological Economics* 76, 60-69.
- Soto, D., Infante-Amate, J., Guzmán, G. I., Cid, A., Aguilera, E., García-Ruiz, R., y González de Molina, M., 2016. The social metabolism of biomass in Spain, 1900–2008: From food to feed-oriented changes in the agro-ecosystems. *Ecological Economics*, 128, 130-138.
- Steffen, W., Broadgate, W., Deutsch, L., Gaffney, O. y Ludwig, C., 2015. The trajectory of the Anthropocene: The Great Acceleration. *The Anthropocene Review*.
- Steurer, A., 1992. Material flow balance for Austria 1988. *Social Ecology Working Paper*, 26.
- Tello, E., Galán, E., Sacristán, V., Cunfer, G., Guzmán, G. I., González de Molina, M., Krausmann, F., Gingrich, S., Padró, R., Marco, I. y Moreno-Delgado, D., 2016. Opening the black box of energy throughputs in farm systems: A decomposition analysis between the energy returns to external inputs, internal biomass reuses and total inputs consumed (the Vallès County, Catalonia, c. 1860 and 1999). *Ecological Economics* 121:160-174.
- Tello, E., Garrabou, R., Cussó, X., Olarieta, J. R. y Galán, E., 2012. Fertilizing Methods and Nutrient Balance at the End of Traditional Organic Agriculture in the Mediterranean Bioregion: Catalonia (Spain) in the 1860s. *Human Ecology* 40(3): 369-383.
- Toledo, V., & González de Molina, M. (2007). El metabolismo social: las relaciones entre la sociedad y la naturaleza, en Garrido Peña, F., González de Molina, M., Serrano, J. L. y Solana, J. L., *El paradigma ecológico en las Ciencias Sociales*. Icaria, Barcelona, pp. 85-112.
- Toledo, V.M. y García-Frapolli, E., 2008. *Metabolismos Rurales*. Monográfico en *Revista Iberoamericana de Economía Ecológica*.
- Toledo, V.M., 1995. Campesinidad, agroindustrialidad, sostenibilidad: los fundamentos ecológicos e históricos del desarrollo rural. *Cuadernos de Trabajo* 3: 1-45.
- Turner, B. L. (ed), 1991. *Earth as Transformed by Human Action*. Cambridge University Press, Cambridge.
- UNEP, 2015. Material flow dataset. <https://undatacatalog.org/dataset/material-flow-dataset-0> (consultado el 18 de octubre de 2017).
- Valero, A. y Naredo, J.M., 1999. *Desarrollo económico y deterioro ecológico*. Visor, Madrid.
- Vallejo, M. C., Pérez Rincón, M. A. y Martínez- Alier, J., 2011. Metabolic profile of



the Colombian economy from 1970 to 2007. *Journal of Industrial Ecology* 15(2): 245-267.

Vallejo, M.C., 2010. Biophysical structure of the Ecuadorian economy, foreign trade, and policy implications. *Ecological Economics* 70(2): 159-169.

Villa, I., 2017. Transformaciones en el Metabolismo Agrario y su impacto socio-ecológico: Montefrío, 1750-1920. Tesis Doctoral, Universidad Pablo de Olavide.

Vitousek, P.M., Ehrlich, P.R., Ehrlich, A.H. y Matson, P.A., 1986. Human Appropriation of the Products of Photosynthesis. *BioScience* 36: 368-373.

Wackernagel, M. y Rees, W., 1996. *Our Ecological Footprint, Reducing Human Impact on the Earth*. New Society Publishers, Philadelphia.

Weisz, H., Amann, C., Eisenmenger, N., Krausmann, F. y Hubacek, K., 2004. Development of material use in the EU-15: 1970-2001. Types of materials, cross country comparison and indicator improvement. IFF-Social Ecology, Draft report.

Weisz, H., Krausmann, F., Amann, C., Eisenmenger, N., Erb, K. H., Hubacek, K., & Fischer-Kowalski, M., 2006. The physical economy of the European Union: Cross-country comparison and determinants of material consumption. *Ecological Economics* 58(4): 676-698.

West, J. y Schandl, H., 2013. Material use and material efficiency in Latin America and the Caribbean. *Ecological Economics* 94: 19-27.

Wiedenhofer, D., Rovenskaya, E., Haas, W., Krausmann, F., Pallua I. y Fischer-Kowalski, M., 2013. Is there a 1970s Syndrome? Analyzing Structural Breaks in the Metabolism of Industrial Economies. *Energy Procedia* 40: 182-191.

Wiedmann, T.O., Schandl, H., Lenzen, M., Moran, D., Suh, S., West, J. y Kanemoto, K., 2013. The material footprint of nations. *Proceedings of the National Academy of Sciences*.

Wolman, A., 1965. The metabolism of cities. *Scientific American* 213: 178-190.

Wrigley, E.A., 1990. *Continuity, chance and change: The character of the industrial revolution in England*. Cambridge University Press, Cambridge.

Wrigley, E.A., 2010. *Energy and the English Industrial Revolution*. Cambridge University Press, Cambridge.

York, R., Rosa, E.A. y Dietz, T., 2003. Footprints on the earth: The environmental consequences of modernity. *American Sociological Review* 68(2): 279-300.