

Asociación de Economía Ecológica en España
EcoEcoEs Documento de Trabajo nº 02_2011

Del metabolismo social al metabolismo hídrico

María Jesús Beltrán y Esther Velázquez

Universidad Autónoma de Barcelona y Universidad Pablo de Olavide

Abril, 2011

María Jesús Beltrán y Esther Velázquez: 2011
Del metabolismo social al metabolismo hídrico
EcoEcoEs Documento Trabajo 02_2011

Asociación de Economía Ecológica en España
<http://www.ecoeco.es>

© 2011 by María Jesús Beltrán, Esther Velázquez y EcoEcoEs

Del metabolismo social al metabolismo hídrico

María Jesús Beltrán¹ y Esther Velázquez²

¹Universidad Autónoma de Barcelona y ²Universidad Pablo de Olavide

mjbeltran@upo.es, evelalo@upo.es

Resumen

Para estudiar las interdependencias biofísicas del sistema económico, Fischer-Kowalski (1997), propuso el concepto de metabolismo social, como analogía al metabolismo biológico, buscando la descripción y cuantificación de los flujos de materia y energía que se intercambian entre los sistemas económico, social, territorial, medioambiental, etc.

Desde que se popularizara esta analogía tan útil para analizar las interdependencias citadas, la proliferación de trabajos, abordando el estudio del metabolismo desde diversas perspectivas, ha sido notable. Sin embargo, esta proliferación ha dado lugar a una confusión entre lo que es y no es metabolismo. En nuestra investigación, el objetivo principal es definir el metabolismo hídrico del sistema económico en base y como analogía al metabolismo social. No obstante, y detectado un interesante debate entre las diferentes visiones del concepto de metabolismo, creemos necesario analizar, ordenar y estructurar, como objetivo intermedio, estos diversos enfoques que hay del metabolismo social para así, determinar el concepto de metabolismo con el que trabajaremos y, a partir de él, definiremos nuestro objetivo principal.

En este trabajo pues, presentamos el resultado del análisis del debate en torno al concepto de metabolismo y una primera aproximación al concepto propuesto de metabolismo hídrico. Partiendo del concepto de metabolismo social que presentan González de Molina y Toledo (2009), nuestra propuesta consiste en plantear el metabolismo hídrico como un marco de análisis, que engloba la imprescindible contextualización de las estimaciones hídricas.

Palabras clave: Metabolismo hídrico, metabolismo social.

Abstract

To study the biophysical interdependencies of the economic system, Fischer-Kowalski (1997), proposed the concept of societal metabolism, such as analogy to biological metabolism, looking for the description and quantification of the material and energy flows exchanged between the economic, social, and natural systems.

Since the popularization of this analogy there has been a proliferation of research dealing with metabolism derives from different conceptual background. The basic question that guides the task at hand is to what degree the studies that fit under the label metabolism provide a useful understanding of the economic system. In our research, the main purpose is to define the water metabolism of the economic system as an analogy to the societal metabolism.

Detected an interesting debate among the diversity of metabolism approaches, we believe necessary to analyze, order and structure, as an intermediate objective, these various approaches and determine the suitable concept of metabolism for define our main objective.

In this study, therefore, we present the analysis of the debate around the concept of metabolism and an initial approach to water metabolism. Based on the concept of societal metabolism that González de Molina and Toledo (2009) present, our proposal is present water metabolism as an analytical framework, including the contextualization of water estimations.

keywords: Water metabolism, social metabolism.

Glosario

AV: Agua virtual

DMI*: Entradas materiales directas

HH: Huella hídrica

IFF**: Instituto de Ecología Social

IMPS*: Entradas de material por unidad de servicio

LCA*: Análisis de ciclo de vida

MFA*: Contabilidad de flujos de materiales

MUSIASM*: Análisis multiescala del metabolismo social

NIES*: Instituto Nacional de Estudios Ambientales de Japón

PIOT*: Tablas Input-Output físicas

SFA*: Análisis de flujos de materiales

TDO*: Output interior total

TMR*: Requerimientos totales de materiales

WI*: Instituto Wuppertal

WRI*: Instituto de los Recursos Mundiales

*Las siglas se corresponden con su original en inglés, ya que la mayor parte de bibliografía sobre el metabolismo social se encuentra en este idioma.

**Las siglas se corresponden con su original en alemán.

1. Introducción

“No todo lo que cuenta se puede contar, y no todo lo que se puede contar, cuenta”

A. Einstein

“Un mínimo de conocimiento sobre lo que es el conocimiento nos enseña que lo más importante es la contextualización”

E. Morin

La economía ecológica entiende el sistema económico como un sistema abierto, por lo tanto, “si reconocemos que el sistema económico es un sistema abierto a, y en interacción continua con, el sistema ambiental, es decir, con los flujos biofísicos de energía y materiales” (Aguilera, 2009, 2), necesitamos estudiar no sólo la perspectiva monetaria, sino las interrelaciones entre lo social, lo económico y lo biofísico o ambiental. Para estudiar las interdependencias biofísicas del sistema económico, Fischer-Kowalski (1997), propuso el concepto de metabolismo social, como analogía al metabolismo biológico, buscando la descripción y cuantificación de los flujos de materia y energía que se intercambian entre los sistemas económico, social, territorial, medioambiental, etc.

El concepto de metabolismo surge así con una visión sistémica que entiende el sistema económico como un sistema abierto que intercambia flujos físicos con los demás sistemas, integrándose como una metodología dentro de la disciplina de la economía ecológica. Como no podía ser de otra manera, desde que se popularizara esta analogía tan útil para analizar las interdependencias citadas, la proliferación de trabajos, abordando el estudio del metabolismo desde diversas perspectivas, ha sido notable¹. Sin embargo, esta proliferación ha dado lugar, en nuestra opinión, a una confusión entre lo que es y no es metabolismo.

El metabolismo está considerado, por la mayor parte de las escuelas que han desarrollado trabajos en este campo, como una herramienta de cuantificación de flujos físicos, es decir, como una metodología cuantitativa que provee de información importante y necesaria para el análisis de la sostenibilidad, en base a la cual disciplinas como la

¹ Una gran parte de la revisión de los estudios de flujos de materiales que se han realizado sobre el metabolismo de las economías están reflejados en Fischer-Kowalski (1998) y Fischer-Kowalski y Hüttler (1999), Daniels y Moore (2002) y Daniels (2002). Así como en algunos de los manuales más importantes como el de Ayres y Ayres (2002), entre otros.

economía ecológica, la ecología política y la economía institucional, entre otras, interpretan, analizan y contextualizan esa información física.

No obstante, desde las diferentes escuelas, no hay un consenso sobre con qué profundidad deben ser tratadas esas cuantificaciones de flujos. De manera que hay trabajos que se centran en cuantificar los flujos físicos mediante indicadores, sin hacer análisis de las implicaciones políticas de esos flujos, lo que les lleva a conclusiones que pueden ser, en cierto modo, mal interpretadas o utilizadas para defender ideas que poco tienen que ver con la economía ecológica. Existen otros trabajos que, sin entrar de lleno en la contextualización política y social de los flujos físicos, adelantan el porqué de esos flujos, haciendo análisis históricos y políticos que inciden en la importancia de la contextualización de los flujos físicos para, en aras de no caer en un reduccionismo monetario, no caer en un reduccionismo físico. Estas aplicaciones del concepto de metabolismo suelen provenir de trabajos que se sustentan en el marco teórico de la economía ecológica, la ecología política y la ciencia posnormal².

En nuestra investigación, el objetivo principal es definir el metabolismo hídrico del sistema económico en base, y como analogía, al metabolismo social. Sin embargo, detectado un interesante debate entre estas diferentes visiones del concepto de metabolismo, como objetivo intermedio, nos proponemos plantear el concepto de metabolismo social que creemos más adecuado para abordar nuestra investigación. A partir del análisis detallado del debate, hemos detectado que, en la búsqueda de la cuantificación de los flujos físicos, los flujos de agua, no han sido incluidos en la mayor parte de los estudios realizados debido, paradójicamente, a la importancia, tanto cuantitativa como cualitativa, que tienen en el metabolismo socioeconómico. Así, los flujos hídricos del metabolismo socioeconómico se estudian por separado desde una perspectiva generalmente cuantitativa (Steurer, 1996), dejando fuera de sus análisis las interdependencias que existen entre los sistemas económico, social y ambiental.

No obstante, estas interrelaciones no pueden ser obviadas si consideramos el agua, no como un mero factor de producción, sino como un activo ecosocial (Aguilera, 1998). Desde esta perspectiva, el agua no debe ser entendida como un elemento aislado, sino que se atiende a todas las funciones que realiza en el ecosistema, proponiéndose así una gestión del agua y el territorio. Por ende, el análisis de las entradas y salidas de flujos hídricos de un sistema económico debe hacerse teniendo en cuenta las implicaciones que conllevan

² Funtowicz y Ravetz (2000).

esos flujos en el ecosistema y en el sistema social. En otras palabras, contextualizando las entradas y salidas de agua del metabolismo hídrico de una economía, como a continuación, pasamos a definir.

Así, proponemos el metabolismo hídrico como un marco de análisis, que engloba en su estudio esta imprescindible contextualización de las estimaciones hídricas. Nuestro objetivo es, por tanto, plantear una propuesta de metabolismo hídrico siguiendo el concepto de metabolismo social que presentan González de Molina y Toledo (2009). El punto de partida es evitar caer en un mero análisis reduccionista, aunque sea en términos físicos, presentando la contextualización de los datos e incluyendo la interacción con la sociedad como parte de ello. Debido a la incertidumbre que conlleva el estudio de los sistemas naturales, consideramos la contextualización como el paso imprescindible para lograr un acercamiento a la realidad cuantificada por los datos físicos.

Este trabajo consiste en plantear un primer acercamiento teórico a la noción de metabolismo hídrico que desarrollaremos de forma metodológica en futuras investigaciones, de tal forma que el concepto propuesto pretende cumplir una función normativa sin que ello repercuta en la flexibilidad metodológica del mismo a la hora de desarrollar las aplicaciones prácticas.

La estructura del trabajo es la siguiente. Después de esta breve introducción, en el apartado segundo introducimos el debate conceptual que existe sobre el término metabolismo socioeconómico. En el tercero, presentamos una revisión de los trabajos de análisis de los flujos hídricos de la economía. En el cuarto apartado desarrollamos nuestra propuesta conceptual de metabolismo hídrico. Para finalizar presentamos las principales conclusiones y reflexiones derivadas del trabajo.

2. Del metabolismo biológico al metabolismo social. Un debate y una confusión

Para abordar el estudio de la complejidad de los sistemas ecológicos y la afectación que el ser humano tiene sobre ellos, desde diferentes disciplinas se han propuesto analogías que puedan servir de instrumentos para transmitir las ideas (Fischer-Kowalski, 1998). Así, la metáfora del metabolismo socioeconómico, en similitud con el metabolismo biológico, expresa la idea de que la economía es como un organismo que necesita tomar recursos del medio y excreta residuos (Martínez Alier, 2004). Llegar a esta conceptualización implica discutir los postulados en los que se basa la economía neoclásica de sistema cerrado,

circular y mecánico y entender el sistema económico como un sistema abierto, que interactúa con los demás sistemas, afectándose de manera mutua en el tiempo (Fischer-Kowalski y Haberl, 1997).

Puesto que es una noción amplia, el metabolismo socioeconómico ha sido puesto en práctica por diversas escuelas de pensamiento y la extensa proliferación de trabajos sobre el tema ha derivado en diferentes aplicaciones del metabolismo. El debate que aquí presentamos sobre las diferentes visiones del metabolismo socioeconómico, se basa, aunque no de forma excluyente, en los trabajos que contabilizan los flujos de materiales³.

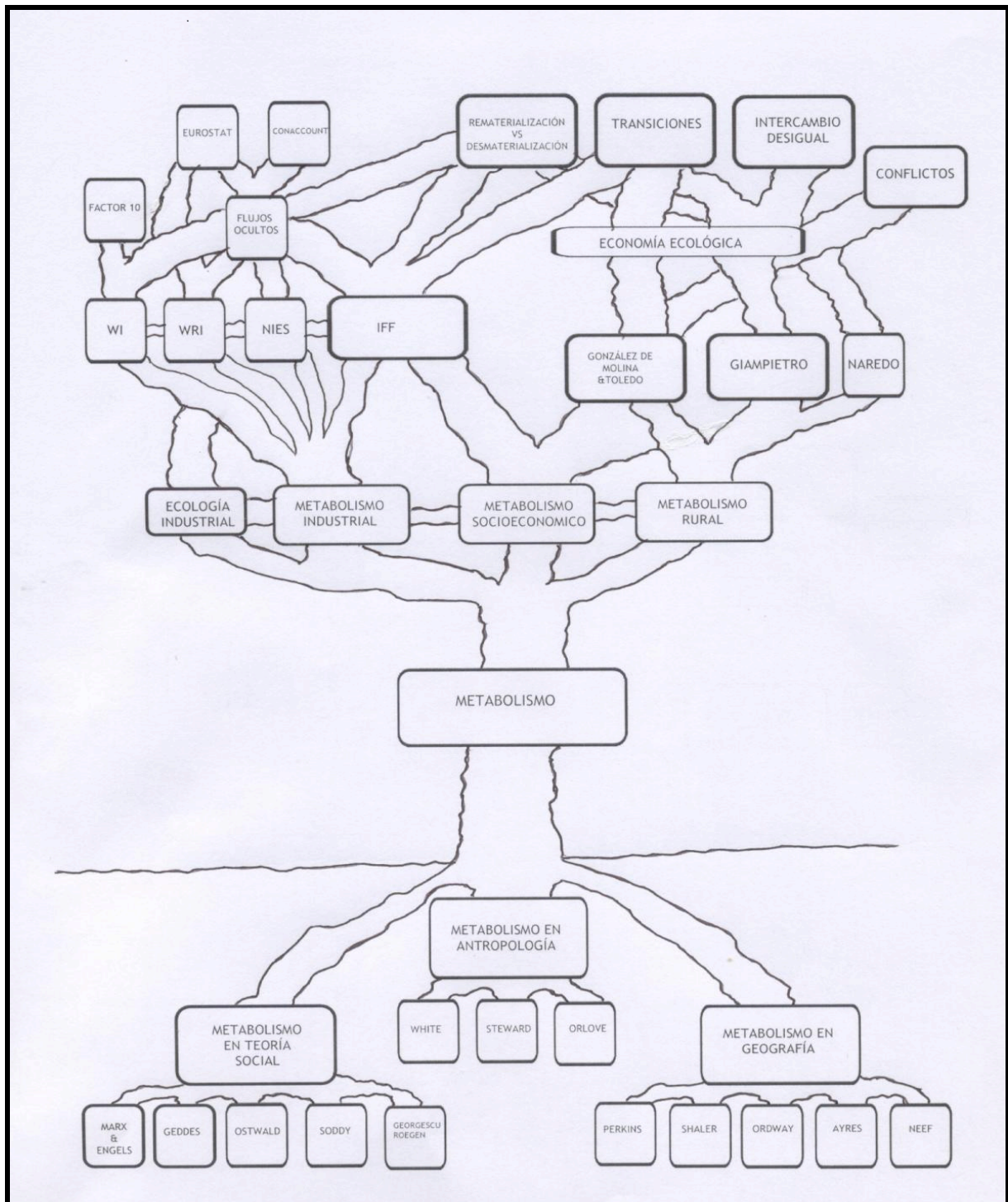
Para sustentar el debate hemos seguido las principales líneas de trabajo que se han desarrollado en base a este concepto, de manera que podemos representar las diferentes visiones, aplicaciones y escuelas del metabolismo mediante un “árbol” que nos sirva para visualizar el análisis realizado. No es nuestro objetivo ahondar en el estudio de la historia del metabolismo, puesto que existen gran cantidad de trabajos que abordan este tema⁴, sino incidir en las diferencias conceptuales que se denotan de las principales aplicaciones y las críticas que se han realizado desde los teóricos que trabajan en esta disciplina. Tampoco las categorías seleccionadas (metabolismo industrial, socioeconómico y rural) son exclusivas ni excluyentes sino son las propuestas que nos sirven para dar el hilo conductor necesario al desarrollo teórico.

A continuación, presentamos el “árbol del metabolismo” (gráfico 1).

³ Dada la proliferación de trabajos y enfoques sobre el tema, hemos realizado una investigación exhaustiva siendo conscientes de la dificultad de abarcarla en su totalidad.

⁴ Véanse los trabajos de Fischer-Kowalski (1998), Fischer-Kowalski y Hüttler (1999), Daniels y Moore (2002), Daniels (2002), Ayres y Ayres (2002) y Carpintero (2005), entre otros.

Gráfico 1. El árbol del metabolismo



Fuente: Elaboración propia

El que hemos llamado “árbol del metabolismo” surge así con la intención de visualizar el surgimiento del concepto, en forma de las “raíces” del metabolismo (Fischer-Kowalski, 1998), así como las distintas “ramas” de estudio donde se ha aplicado, que las hacemos simbólicamente coincidir con las ramas del “árbol”: metabolismo de sociedades industriales⁵, metabolismo socioeconómico, que incluye cualquier tipo de sociedad, y metabolismo rural⁶. En él están representadas las principales escuelas que han trabajado en la evolución de esta disciplina, los avances que consideramos destacables en las aplicaciones del concepto, y los principales debates que sustentan los resultados de esta disciplina. Por último también hemos querido de manera simbólica representar el papel que la economía ecológica juega en determinadas aplicaciones. Acto seguido desarrollamos estas diferentes nociones del concepto de metabolismo.

2.1 El metabolismo industrial

El origen del concepto de metabolismo se puede encontrar en las teorías de autores pertenecientes a diversas disciplinas, como la antropología ecológica y cultural, la geografía social, así como la teoría social. Algunos de los autores representativos están descritos en el árbol como las raíces del concepto del metabolismo, como presenta en su trabajo Fischer-Kowalski (1998).

Basándose en las teorías formuladas por estos autores, el aparato metodológico desarrollado para el estudio de la base material de las economías es el que sustenta la conceptualización de que las economías industriales han desarrollado un metabolismo que debe ser abordado más allá de la visión puramente monetaria (Ayres y Kneese 1968, 1969). Así, en los años 60 resurgió el concepto de metabolismo social dentro de la crítica al crecimiento económico, promovido por un nuevo acercamiento de la organización y desarrollo de la sociedad y las fuerzas y procedimientos físicos naturales. Fischer-Kowalski (1997) planteó que el concepto biológico de metabolismo necesitaba ser expandido para abarcar los flujos de materiales y energía y las transformaciones asociadas a ellos que ocurren como consecuencia del intercambio de estos flujos entre el subsistema económico y el ecosistema. De esta forma, ponía de relieve que el estudio del metabolismo socioeconómico provocaba un cambio en la forma de entender la evolución cultural de las

⁵ La ecología industrial es, como veremos mas adelante, una disciplina que nace al mismo tiempo que el metabolismo industrial y según autores como Johanson (2002), no se hace distinción entre ambas.

⁶ Puede llamar la atención que el concepto de metabolismo agrario no se encuentra incluido en el “árbol”. Hemos optado por no ponerlo explícitamente porque entendemos que cada una de las “ramas” lo incluye.

sociedades, ya que la idea del eterno progreso daba paso a la visión del crecimiento de las economías industriales como la posible causa de la devastación humana.

La investigación de Ayres y Kneese (1969) es considerado como el trabajo que ha guiado el estudio de los flujos de materiales de las economías nacionales, pero no llegaron a utilizar el término metabolismo hasta 1989, en que difundieron el concepto de metabolismo industrial, definiéndolo como los flujos totales de energía y materiales que van a alimentar el sistema industrial Ayres y Kneese (1989), mientras que el metabolismo social se aplica también a sociedades no industriales (Fischer-Kowalski y Hüttler, 1999).

En ese sentido, existe un consenso sobre la importancia de estudiar el metabolismo de las sociedades industriales, debido a que está basado en unas pautas de consumo de recursos y energía no renovable caracterizado por el cambio tecnológico y el aumento de la productividad de la tierra y el trabajo (Krausmann et al., 2008). Este tipo de metabolismo, que sólo corresponde a una tercera parte de la humanidad, está alterando los ciclos biogeoquímicos y la organización social mundial, generando problemas de sostenibilidad ambiental y social, dado los límites biofísicos en los que se inserta el sistema económico y la distribución desigual de los recursos (Haberl et al., 2011). Las dos terceras partes de la humanidad, aun viviendo en sociedades más cercanas a las agrarias tradicionales, se encuentran en transición del metabolismo agrario al industrial bajo el dominio del régimen socioeconómico industrial (Fischer Kowalski y Haberl, 2007).

A partir de los primeros trabajos que comenzaron a estudiar el metabolismo de las economías industriales para desarrollar la metáfora antes expuesta, se propuso la contabilización de flujos de energía, materiales y residuos de las sociedades industriales. Desde el punto de vista del balance de materiales, la cuestión era desarrollar una herramienta para contabilizar todas las entradas de recursos al sistema socioeconómico y el *stock* que señala el crecimiento material de las economías, así como las salidas de este sistema en forma de productos y residuos de nuevo a la biosfera. Así surgió la Contabilidad de Flujos de Materiales (MFA), que se centraba en la cuantificación de flujos, y el Análisis de Flujos de Materiales (SFA), que es el instrumento que aporta un enfoque cualitativo a la contabilidad de flujos para incorporar la diferencia de impacto al medio ambiente dependiendo de los tipos de flujos (Daniels, 2002).

El primer trabajo que estudió la base material de las economías desde una perspectiva metabólica es el de Steurer (1992), referenciado en Carpintero (2005). De este avance en

la contabilización de materiales surgió un esfuerzo por consensuar la metodología; así, desde el lado de las entradas⁷, se desarrollaron trabajos basados en los Requerimientos Totales de Materiales (TMR), y desde el lado de las salidas, gracias al indicador Output Interior Total (TDO)⁸. En este trabajo de consenso, del cual surgieron las estadísticas a nivel europeo de flujos de materiales (Eurostat, 2001), fueron de gran ayuda las colaboraciones de los investigadores del Instituto Wuppertalt (WI), el Instituto de Ecología Social (IFF), del Instituto Nacional de Estudios Ambientales de Japón (NIES) y del Instituto para los Recursos Mundiales (WRI)⁹. El proyecto *ConAccount* es a su vez un esfuerzo realizado por los principales expertos en la materia para mejorar y estandarizar el estudio de MFA (Bringezu et al., 1997).

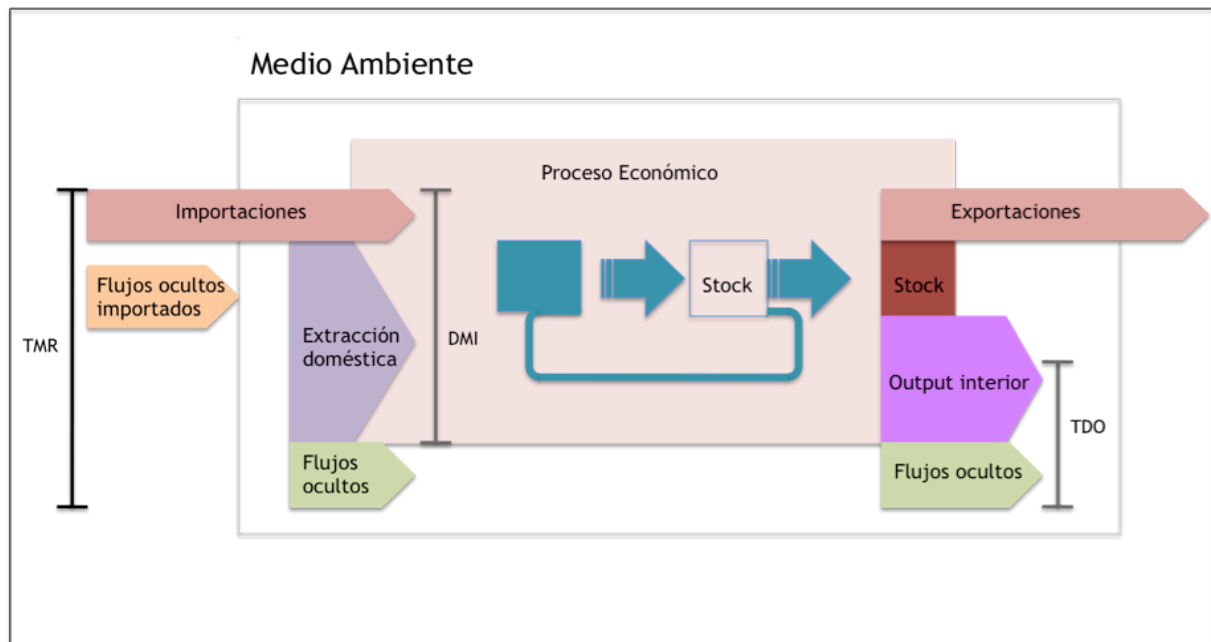
En general, MFA es la metodología básica de estudio de los flujos de materiales, aunque existen otras muchas herramientas (Daniels y Moore, 2002). A su vez, estas herramientas se pueden aplicar en conjunto, complementándose unas con otras. En el gráfico 2 se pueden observar como MFA está formada por una serie de indicadores que permiten analizar un sistema económico desde el lado de las entradas y salidas de materiales.

⁷ Las entradas y salidas de flujos de una economía se nombran indistintamente en estos trabajos como *inputs* y *outputs*, respectivamente.

⁸ Los trabajos de referencia son, desde el lado del *input* el trabajo de Adriaanse et al. (1997), y desde el lado del *output* el trabajo de Matthews et al. (2000).

⁹ Los autores más destacados del WI son Stefan Bringezu y Friedrich Schmidt-Bleek, entre otros. Los autores más destacados del IFF son Marina Fischer-Kowalsky, Fridolin Kraussmann, Helga Weisz, Heinz Schandl, y Helmut Haberl, entre otros. El autor más destacado del NIES es Yuichi Moriguchi y respecto al WRI, cabe destacar el trabajo de Donald Rogich y René Kleijn.

Gráfico 2. La contabilidad de flujos de materiales de una economía



Fuente: Elaboración propia a partir de Daniels (2002).

Desde el lado de las entradas el TMR es la suma de las importaciones más los flujos ocultos que conllevan dichas importaciones, más la extracción doméstica, incluido los correspondientes flujos ocultos de la misma. A su vez la suma de la extracción doméstica más las importaciones y los flujos ocultos que conllevan, nos da el indicador de entradas materiales directas (DMI). Tras atravesar el proceso económico, el *stock* se refiere al crecimiento material de esa economía, así como las exportaciones que se realizan. El *output* interior más los flujos ocultos de esas salidas de materiales es el resultado del TDO.

Cabe destacar la importante aportación del Instituto Wuppertal mediante el análisis de los flujos ocultos en el sistema económico, creando las denominadas mochilas ecológicas (Schmidt-Bleek, 1993) de las entradas de materiales a una economía¹⁰. Generalmente este indicador puede calcularse mediante la aplicación de los Análisis de Ciclo de Vida (LCA) o de las entradas de material por unidad de servicio (IMPS), desarrollado por el WI específicamente para los estudios de MFA. Además de la metodología de MFA, se han desarrollado las Tablas Input-Output físicas (PIOT), que se utilizan para los balances de materiales que entran a una economía nacional por sectores, habiéndose aplicado en

¹⁰ Las mochilas ecológicas se utilizan para designar los flujos ocultos que conllevan los materiales que entran o salen de una economía.

numerosos estudios (Daniels, 2002). Son destacables los trabajos que inciden en el metabolismo desde la perspectiva de las relaciones con el territorio, desarrollado principalmente por el IFF, mediante los indicadores de Apropiación Humana de la Producción Primaria Neta y Huella Ecológica.

Paralelamente al campo del metabolismo industrial, se ha desarrollado la disciplina conocida como ecología industrial. Así, Frosch y Gallopoulos (1989) plantearon una analogía entre el funcionamiento de los sistemas industriales y biológicos con la idea de que podía ser posible desarrollar métodos de producción con menores impactos para el medio ambiente, sentando las bases de la ecología industrial.

Aunque existen autores que consideran que la ecología industrial va más allá del metabolismo industrial, como el trabajo de Johansson (2002), no hay una definición consensuada de la ecología industrial, y no se hace una clara distinción entre el metabolismo industrial y la ecología industrial (Erkman, 2002). La ecología industrial enfoca el proceso industrial hacia la innovación tecnológica como medio para resolver los problemas ambientales, intentando evitar los análisis parcelarios y estrechos de la economía (Reid y Graedel, 2002). No obstante, en la aplicación práctica de este concepto, no podemos perder de vista que la mayor parte de los creadores de esta disciplina “tenían importantes vinculaciones con el sector industrial de Estados Unidos” (Carpintero, 2005, 121); tal es así que el nombre de ecología industrial fue utilizado como *eslogan* verde de las empresas ante la creación de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (Erkman, 2002).

A pesar de que el origen de este campo parte del estudio de los flujos físicos de la economía industrial bajo un enfoque sistémico, la creencia de que el progreso tecnológico es la base para reestructurar la industria y crear una sociedad más sostenible hace que en algunas aplicaciones prácticas se llegue a la conclusión de que es posible desacoplar el daño ambiental y el uso de los recursos del crecimiento económico (Carpintero, 2005). De esta forma surge el concepto de ecoeficiencia, que se refiere al vínculo de las empresas con el desarrollo sostenible, ya que esta rama de investigación incide en el gasto de materiales y energía en la economía y en la idea de desvincular el crecimiento económico de su base material (Martínez Alier, 2005). Así, los trabajos de Schmidt-Bleek (1994) y Weizsäcker et al. (1995), entre otros, defienden lo que se conoce como Factor 10¹¹, que afirma que es posible el aumento de servicios y valor añadido en las economías industriales

¹¹ Instituto Factor10: www.factor10-institute.org/

reduciendo los requerimientos de materiales. Haberl et al. (2011) señalan que estas estrategias de ecoeficiencia deben desarrollarse pero demuestran que son insuficientes para reducir el consumo de materiales y energía en términos absolutos.

Las metáforas ecología industrial y ecoeficiencia se vuelven de esta forma la base fundamental para describir la idea de que la industria debe encaminarse a cerrar sus ciclos, tal y como lo hace el ecosistema, y su eficiencia debe ir dirigida a ese mismo fin. Sin embargo, no debemos olvidar que la adopción de estas metáforas conlleva arrastrar características asociadas al término original (ecología), de esta forma los valores asociados a un término se asocian al otro. Pero estas asociaciones deben verse con prudencia, porque los valores no tienen que ser coincidentes.

Así pues nos encontramos con términos que tienen una componente semántica (ecología industrial, ecoeficiencia) que induce a pensar que están encaminados al cuidado del ecosistema, pero que en la práctica están contribuyendo a lo contrario, dependiendo de la escala en que se analice. Esto ocurre, como señala Johansson (2002, 75), porque las metáforas científicas que se hacen muy populares suelen acabar como “víctimas de su propio éxito”, en el sentido de que conceptualmente van cargadas de un significado que no se corresponde con las aplicaciones realizadas del concepto.

2.2. El metabolismo socioeconómico

El IFF (también conocida como la escuela de Viena), han sido pioneros en la definición y el estudio del metabolismo socioeconómico como analogía al concepto biológico de metabolismo, que busca la descripción y cuantificación de los flujos de materia y energía que se intercambian entre los sistemas económico, social, territorial, medioambiental, etc. (Fischer-Kowalski, 1997).

Dentro de esta concepción de metabolismo socioeconómico que difunde la escuela de Viena, se distingue entre el “metabolismo básico de la sociedad” y el “metabolismo extendido de la sociedad” (Fischer-Kowalski y Haberl, 1999, 62, 63). El primero se refiere al estudio de sociedades que necesitan al menos la demanda de materiales que corresponde a la suma de la demanda biológica de sus miembros. Estas sociedades utilizaban los recursos de forma renovable y sus residuos podían ser asimilados por el medio, pero a su vez, dichas sociedades no tenían porque ser sostenibles en el uso de los recursos y para persistir debían, emigrar, controlar su población, o matar a otras

sociedades. El segundo tipo se centra en el estudio de sociedades que usan los recursos más allá de sus ciclos naturales, haciéndolos no renovables.

Así, la historia de la sociedad puede ser vista como la historia de la expansión del metabolismo de la sociedad, más allá del metabolismo básico. Este campo de análisis es conocido como el estudio de las transiciones metabólicas (Fischer-Kowalski y Haberl, 2007) y comprende el estudio del metabolismo de las sociedades que se considera que han marcado un antes y un después en el uso de energías y materiales: las cazadoras y recolectoras, las sociedades agrarias tradicionales, y por último, la sociedad industrial.

El metabolismo de las sociedades agrarias tradicionales, en base al uso de materiales y energía, estaba limitado por la cantidad de tierra disponible y la capacidad de la sociedad para producir comida, por lo que “no desarrollaron un modo de vida que fuera sostenible¹² a largo plazo” (Fischer-Kowalski y Haberl, 1997, 68). Gracias al petróleo, las sociedades industriales solventaron los problemas de “sostenibilidad” en relación al acceso a los recursos naturales que tenían las sociedades cazadoras-recolectoras y las agrarias tradicionales. Sin embargo, su caracterización en base a la abundancia energética y de materiales y los impactos ambientales y sociales que ello provoca hacen que se encuentre con otros problemas de sostenibilidad aún mayores (Krausmann et al., 2008).

Además de sustentar el estudio de las transiciones socioecológicas, las aplicaciones del metabolismo socioeconómico han servido como base para el desarrollo de trabajos sobre la desmaterialización relativa. Este es el caso del trabajo sobre Austria de Fischer-Kowalski y Haberl (1997), que transmite un discurso desmaterializador como resultado del descenso de intensidad material relativo al producto interior bruto, dejando dudas que podrían solventarse con estimaciones sobre flujos ocultos, incremento per cápita y estudio de la intensidad material en términos absolutos (Carpintero, 2005). Dentro de esta vertiente se incluye también los trabajos ya citados sobre Factor 10.

No obstante, cabe destacar los numerosos trabajos que defienden el debate de la rematerialización vs desmaterialización, que se trata tanto en estudios ya citados de

¹² Fischer-Kowalski y Haberl (1997) llegan a la conclusión de que las sociedades agrarias tradicionales, en general, acaban con la mayor parte de los recursos naturales de los que dependen, y que gran parte de la sociedad no llegaba más que a alcanzar una vida mísera y dura. Esta afirmación es contrastada con las opiniones de autores que aseguran que la propiedad común era el medio que permitió la gestión sostenible de recursos naturales a las comunidades desde la antigüedad hasta nuestros días (Aguilera, 1991).

Adriaanse et al. (1997), Matthews et al. (2000), Eurostat (2001) y Carpintero (2005), entre otros, así como en Naredo y Valero (1999).

El comercio ecológicamente desigual entre países es un debate que se ha sustentado gracias a la contabilidad de flujos de materiales, demostrando que los países industrializados se han especializado en procesos de mayor valor añadido por unidad de coste físico gracias a las reglas del juego financieras de los agentes económicos imperantes (Naredo, 2006). Algunos trabajos destacados en este campo son los de Muradian y Martínez Alier (2001), Giljum y Hubacek (2001), Muradian y Giljum (2007) y Eisenmenger et al. (2007), entre otros. No obstante también podemos encontrar trabajos que, basándose en la metodología de MFA llegan a resultados sobre el comercio entre países que si bien no aportan nada a este debate, debido a la falta de análisis detallados sobre los intercambios, proponen resultados contraproducentes (Weisz, 2007) que poco o nada tienen que ver con la economía ecológica. Como citábamos al principio de este trabajo, esto es debido a que para identificar las relaciones entre naturaleza y sociedad no es suficiente con la cuantificación de los flujos del metabolismo, si no que es necesario ampliar el concepto, incluyendo el análisis de las implicaciones de los sistemas institucional, ambiental, social y económico en el estudio del metabolismo (Naredo, 2006).

Los teóricos del IFF utilizan el término “colonización” para definir la conexión que existe entre los cambios en las estructuras medio ambientales y en las sociales, consecuencia del metabolismo (Fischer-Kowalski y Weisz, 1999). Este concepto hace relación a las estrategias que utiliza la sociedad para transformar el medio natural y poder explotarlo, ya que para poder realizar las actividades que subyacen a la colonización deben crearse unas estructuras esenciales de organización social; y el trabajo y la tecnología tienen gran importancia en la evolución del metabolismo de las sociedades. Así, dependiendo de las estrategias de colonización, pueden encontrarse diferencias sociales, culturales y económicas entre las sociedades.

Este concepto no ha sido aplicado más allá de su definición teórica, refiriéndose al trabajo humano y a la tecnología como las fuerzas de evolución de las sociedades sin entrar a analizar los flujos de información que coexisten con los flujos biofísicos de la sociedad, ni a intentar enfocar los análisis metabólicos desde una perspectiva de ecología política¹³.

¹³ El concepto de “colonización”, se considera que tiene cierta similitud con la parte intangible del metabolismo de la que hablan González de Molina y Toledo (2009), en lo que se refiere a las

2.3. El metabolismo rural

Aunque la escuela de Viena profundiza en el estudio del metabolismo de sociedades no industriales para explicar el concepto de transiciones socioecológicas (como se puede observar en los trabajos de Fischer-Kowalsky y Haberl (2007), Krausmann et al. (2008) y Krausmann et al. (2009), entre otros, no es la única escuela que ha tratado el metabolismo rural.

Giampietro (2004), hace un trabajo centrado en el metabolismo de los agroecosistemas, en el que desarrollan un aparato conceptual que incide en la visión de que un sistema metabólico es un sistema disipativo, autoorganizado, abierto, y no en equilibrio termodinámico. Las implicaciones que esto conlleva en la aplicación de la metodología Análisis Multiescala del Metabolismo Social (MSIASM) que estos proponen en el estudio del metabolismo social en su visión más amplia, (ya que estudian otros tipos de metabolismo además del metabolismo rural¹⁴, en similitud con la escuela de Viena), es que para poder analizar la evolución de un sistema socioeconómico en interacción con el contexto ecológico debe estudiarse adoptando varias escalas y diversas líneas de evolución (Ramos et al., 2009).

El concepto de metabolismo que plantea Giampietro (2004) se funda en la contextualización del sistema metabólico de acuerdo a los paradigmas de la ciencia posnormal; así, la complejidad, la irreversibilidad de los procesos y la incertidumbre de las consecuencias que produce el ser humano en su manejo de los sistemas naturales, hacen que sea difícil comprender un sistema metabólico usando un análisis reduccionista. Al emprender el estudio del metabolismo socioeconómico desde esta perspectiva múltiple de análisis, que incluye el tiempo, se denota la multiplicidad de perspectivas legítimas que aparecen como resultado de diferentes definiciones de valor y diferentes representaciones de la realidad que tiene la sociedad.

De esta forma, abordar el estudio del metabolismo socioeconómico asumiendo la complejidad de los sistemas reales requiere de “un pensamiento que religue lo que permanece disjunto y compartimentado, que respete lo diverso sin dejar de reconocer lo

diferencias sociales, culturales y económicas entre las sociedades. No obstante la “colonización” alude al trabajo humano y la tecnología como fuerzas de evolución de las sociedades, y la parte inmaterial del metabolismo que los autores citados presentan como fuerzas del cambio social, como veremos más adelante, engloba muchos más elementos de análisis.

¹⁴ Véase Ramos (2005), Ramos et al. (2009) y Giampietro et al. (2009), entre otros.

uno, que intente discernir las interdependencias,... un pensamiento multidimensional, organizador o sistémico, que conciba la relación del todo y las partes” (Morin, 1993, 71).

Las implicaciones que esto conlleva en la aplicación de la metodología MSIASM son que no existe una definición válida del sistema para todos los actores y, por lo tanto, el objetivo del método es mejorar la calidad de las representaciones o lecturas de un sistema metabólico y de los diferentes escenarios; pero que mediante la aplicación de este método no es posible llegar a una caracterización del sistema válida o adecuada para todos, y que no es posible determinar su futura evolución.

El método pretende servir de soporte a la toma de decisiones, y por ello, la idea básica es que cuando se trata de trabajar con las tendencias futuras “es mejor plantear las posibles alternativas relevantes de un posible futuro, que no exponer una sola perspectiva válida para el futuro que pueda resultar irrelevante” (Giampietro, 2004, 189).

Así, aunque Giampietro et al., (2009), entiende el metabolismo como una herramienta metodológica lo enmarcan en el aparato conceptual de las teorías de la complejidad, yendo así más allá de la simple cuantificación de los flujos físicos a un análisis de los mismos que subyace al contexto político en el que se enmarcan.

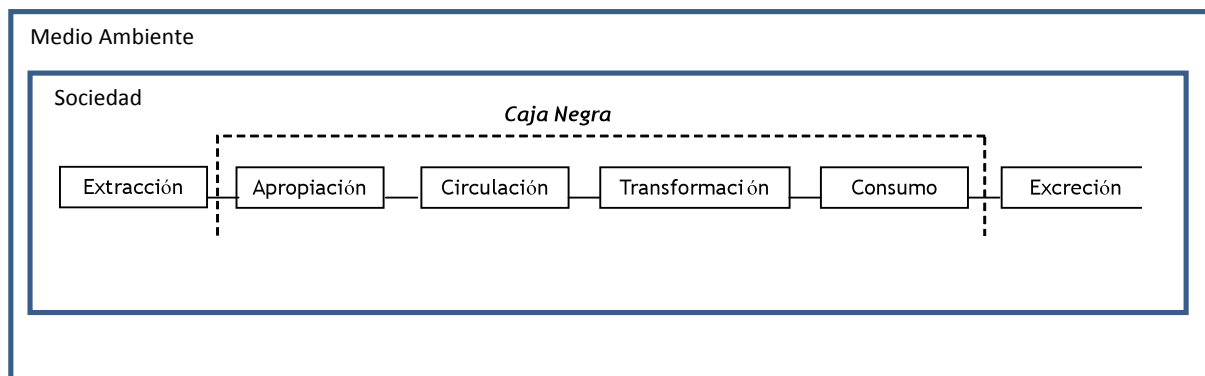
Siguiendo con los análisis desarrollados para el metabolismo rural, el trabajo coordinado por Garrabou y González de Molina (2006) engloba una serie de trabajos encaminados a avanzar en los balances energéticos en la agricultura desde el punto de vista metabólico. El trabajo editado por Toledo y García (2008) es a su vez destacable en el estudio del metabolismo rural, así como el trabajo de González de Molina y Toledo (2009)¹⁵. En este trabajo, los autores, tras el análisis de los principales trabajos de carácter empírico que bajo el concepto de metabolismo social estiman los flujos físicos de la economía, llegan al entendimiento de que “casi sin excepción, el concepto de metabolismo ha quedado reducido a la cuantificación de los flujos de materiales y energía que una determinada sociedad intercambia con su entorno natural durante la apropiación o toma de recursos y servicios (*inputs*) y durante el reciclaje de residuos y desechos (*outputs*). Esta versión simplificada del metabolismo social resulta útil hasta cierto punto, pero carece de toda perspectiva en virtud de que soslaya o ignora dos aspectos: (a) los procesos que ocurren al interior de la sociedad y que conforman la porción interna del fenómeno metabólico; y (b)

¹⁵ Este trabajo se citará en reiteradas ocasiones a partir de ahora puesto que es el único, hasta la fecha y en la revisión realizada, que trata de esta manera el concepto de metabolismo.

los procesos inmateriales e intangibles que existen en toda la sociedad y que de manera invisible pero efectiva interactúan, mediante mecanismos de acción recíproca, con los fenómenos materiales” (González de Molina y Toledo, 2009, 5).

Así, estos autores definen el metabolismo social como marco conceptual para el estudio de las relaciones entre sociedad y naturaleza, que se centra en el análisis del proceso metabólico, no sólo como un fenómeno meramente físico, sino considerando que existe una parte intangible de la sociedad operando como un “armazón” para los procesos materiales del metabolismo. De esta forma, los procesos metabólicos (apropiación, circulación, transformación, consumo y excreción), que denominan “caja negra del metabolismo”, conforman la parte material de un todo y su contraparte o sistema social “contenedora”, está formada por las dimensiones cognitivas, simbólicas, institucional, jurídica y tecnológica que actúan de manera conjunta y de forma dinámica y compleja.

Gráfico 3. Los procesos metabólicos y la “caja negra”



Fuente: Elaboración propia en base a González de Molina y Toledo (2009).

Entender el concepto de metabolismo desde esta perspectiva teórica implica que se debe tener en cuenta a la hora de estudiarlo, además de la cuantificación de los flujos físicos, que nos informan sobre el “qué” y el “cuánto” de esos flujos, la dimensión inmaterial, que señala el “cómo” y el “por qué” de esos flujos físicos.

Esta caracterización de los procesos que ocurren en la sociedad (mas allá de la base física), es la forma que proponen los autores para insertar en el propio concepto de metabolismo social la contextualización de los flujos físicos, avanzando en la consideración del metabolismo para entenderlo como más que una mera metodología cuantitativa, y proponiéndolo como un marco teórico de análisis de las relaciones entre sociedad (o

economía) y naturaleza. Otros autores (Carpintero, 2005, Reid y Graedel, 2002) consideran que aunque ese conocimiento es crucial, se atribuye al campo de estudio de otras ciencias, ya que incluirlo en el propio análisis del metabolismo podría afectar a la identidad de la metodología y hacer el concepto demasiado extensivo, volviendo difusos los límites del metabolismo.

Reconocida la necesidad de desarrollar el enfoque que sólo tiene en cuenta la base física de los procesos económicos, para así incluir la caracterización de los procesos de organización y sociales que interactúan conjuntamente (Carpintero, 2005), se considera relevante el debate existente que muestra que el metabolismo puede ser entendido como una metodología o un marco de análisis amplio.

Como hemos citado anteriormente, González de Molina y Toledo (2009), comparten la visión socioeconómica e histórica del metabolismo social que tienen los trabajos de Giampietro y la escuela de Viena. Plantean que la unidad básica de estudio de la historia ambiental es el metabolismo social y para tener en cuenta esa dimensión temporal revisan los principales momentos de la interrelación ser humano-naturaleza en base a los procesos metabólicos, surgiendo así tres tipos de metabolismos claves en la historia socioambiental del hombre (cazadoras y recolectoras, sociedades agrarias tradicionales, y sociedades industriales), que coinciden con los tres tipos de metabolismo que utilizan Fischer-Kowaski y Haberl (2007) para estudiar las transiciones socioecológicas.

Al estudiar los factores de esta transición de tipos de metabolismos, los autores indican que se trata de explorar cómo los cinco procesos materiales del metabolismo social, mediados a su vez por los factores intangibles, realizan una función conjunta y cómo esa función se modifica a lo largo del tiempo. En su análisis de las transiciones del metabolismo rural al metabolismo industrial (centrado en la agricultura industrial como elemento dentro del metabolismo industrial), insisten en que el metabolismo industrial debe ser analizado críticamente y contextualizar la estructura de poder en el que se enmarca este sistema, para no olvidar las grandes desigualdades y sus consecuencias, los conflictos que irremediablemente producen los impactos ambientales y sociales que este metabolismo provoca (González de Molina y Toledo, 2009). Así, consideran que los conflictos ambientales son producto de la propia existencia de relaciones sociales mediadas por el poder a través de las cuales circulan los recursos (tanto naturales, económicos como sociales).

Este concepto es el que consideramos más adecuado para nuestro objeto de estudio y a partir de él desarrollamos nuestra propuesta conceptual de metabolismo hídrico. A continuación revisamos los principales análisis realizados de los flujos hídricos del proceso económico.

3. El estudio de los flujos hídricos del proceso económico

El estudio de los flujos hídricos del proceso económico, desde el punto de vista metabólico, ha sido excluido de la mayor parte de trabajos. Sin embargo, otros muchos los han estudiado por separado, considerándolo en ocasiones como sumideros de residuos o desde el punto de vista de la mejora de la eficiencia en el uso de este recurso en los procesos productivos. No es nuestro objetivo, por tanto, recopilar la gran proliferación de trabajos que han tratado el tema del agua, sino sólo incidiremos en algunos estudios que consideramos destacables para el objetivo de este trabajo.

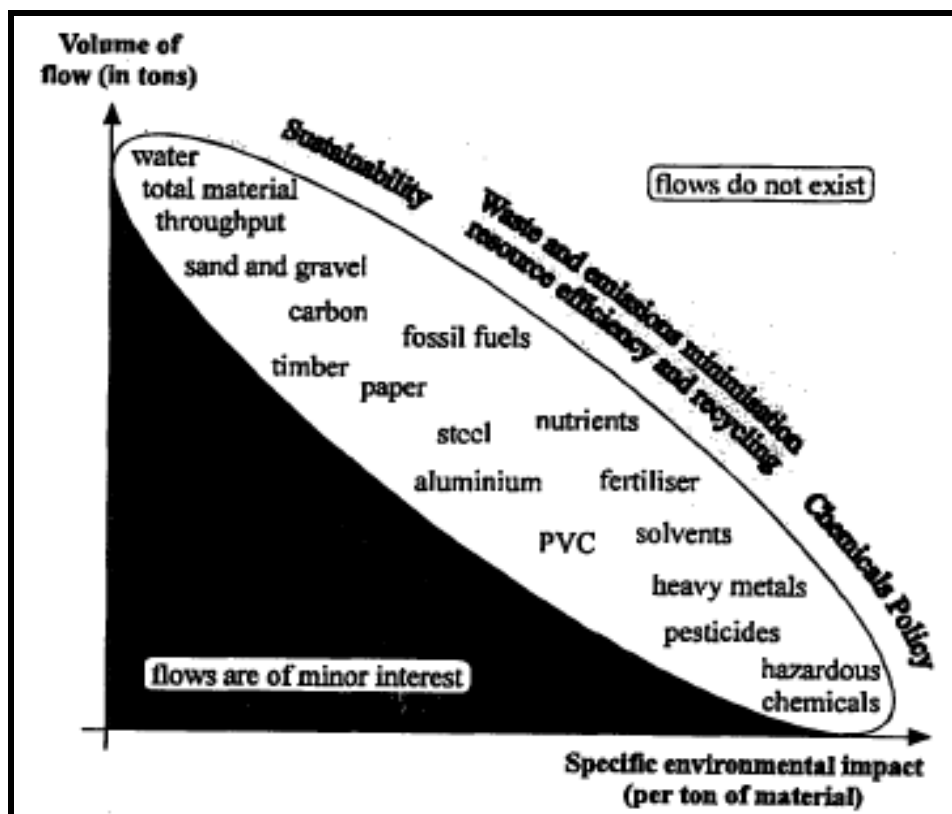
3.1 El papel del agua desde la óptica del metabolismo puramente contable

Desde la metodología de MFA, para diferenciar los flujos considerados en el metabolismo socioeconómico, se han desarrollado indicadores que dividen los flujos en tres niveles: residuos con altos niveles de toxicidad, combustibles fósiles y recursos minerales, y flujos con menor impacto por tonelada utilizada (Carpintero, 2005). Este es el nivel en el que por exclusión, se encontraría el agua. En el gráfico 4 se observan los materiales que tienen interés para MFA. El agua se encuentra en primer lugar en los materiales que, a mayor cantidad utilizada, menor impacto ambiental específico conlleva. Esto es tratado así desde la metodología de MFA ya que, en comparación con los demás materiales considerados por el sistema económico, el agua es el principal *input* superando hasta 20 veces la suma del resto de materiales (Schutz y Bringezu, 1993).

Sin embargo, esta conclusión se extrae desde una perspectiva puramente contable, en la que el agua, medida en unidades físicas, constituye un *input* para el sistema económico, independientemente del territorio donde se extraiga. Una interpretación de este gráfico es que probablemente en lugares donde exista agua en grandes cantidades, una vez que es utilizada por el sistema económico, efectivamente el impacto por volumen de agua será bajo. Sin embargo, las ingentes cantidades de agua que requiere un sistema económico en un territorio con mayor escasez (física, social o ambas), o los problemas de contaminación

que puede ocasionar su paso por el sistema, pueden aumentar el impacto ambiental por volumen utilizado de este elemento.

Gráfico 4. Flujos de materiales que tienen interés para la contabilidad de flujos de materiales



Fuente: Steurer, 1996.

El estudio de los flujos hídricos de una economía, aunque se consideren de enorme importancia a nivel cuantitativo y cualitativo, no ha sido incluido en muchos de los estudios sobre metabolismo socioeconómico por el carácter desequilibrante en términos cuantitativos del recurso¹⁶, sumado a las carencias en la información estadística que existe sobre el agua, y al hecho de que las escalas de estudio apropiadas para los recursos hídricos y los materiales difieren (Madrid y Velázquez, 2008). Así, analizar los flujos de agua que son usados y transformados por un sistema económico, representa todo un reto (Rogich y Matos, 2002).

¹⁶ En el perfil metabólico de las sociedades industriales el agua supone el 87% del volumen de materiales que integran la economía (Schandl y Schulz, 2002).

Aunque hay autores que han incluido los flujos de agua en sus análisis metabólicos¹⁷, no existe un consenso de cómo considerar el agua dentro del sistema económico. Ayres (2000) y Gravgard (1998), son sólo algunos de los autores que proponen diferentes métodos para contabilizarla.

En general, los flujos hídricos del metabolismo socioeconómico se estudian por separado dada la consideración de que su uso, aunque indispensable para el metabolismo, conlleva un bajo impacto al ser un recurso renovable en el ciclo hidrológico y varía de forma importante entre regiones¹⁸.

En el estudio del agua desde el punto de vista metabólico¹⁹, podemos encontrar trabajos que destacan la importancia del agua como sumidero de residuos como el trabajo del metabolismo industrial en la cuenca del Rin (Stigliani y Jaffé, 1993), o el estudio de Allen (2002), entre otros. Son numerosos también los trabajos que estudian las relaciones de los flujos de agua de un sistema desde el punto de vista metabólico para reducir el consumo de agua, como los trabajos de Ehrenfeld y Chertow (2002) y Nuñez et al. (2009), entre otros.

Como aplicación de las PIOT en el estudio de los flujos de agua, el trabajo de Hubacek y Sun (2005), destaca por ser un ejemplo de análisis contextualizado en el territorio de los flujos hídricos en China.

Desde el instituto Wuppertal se han estudiado las entradas de agua al sistema económico, en forma de flujos de agua oculta que son necesarios para fabricar materiales, bajo la perspectiva del análisis de ciclo de vida (LCA). Así, en el trabajo de Stiller (1999) se estudian los requerimientos de agua para la fabricación de materiales nuevos y tradicionales: fibra de vidrio, P-aramidas, PVC, etc. Schmidt-Bleek (1998), referenciado en Carpintero (2005), ha estimado las entradas totales de agua de diferentes productos,

¹⁷ Es de destacar el trabajo de Wolman (1965) sobre el metabolismo de un modelo de ciudad norteamericana. Ayres y Ayres (1998) incluyen los flujos de agua en su estudio sobre los sectores industriales, y Strassert (2002) incluye los flujos de agua en su estudio del metabolismo alemán mediante las tablas input-output físicas. Schutz y Bringezu (1993) estimaron el total de flujos movilizados por la economía alemana de 1989-1990; y Steurer (1992), referenciado en Carpintero (2005) hizo un estudio de los flujos de la economía austriaca que en 1994 amplió incluyendo los flujos de agua (Steurer, 1994, referenciado en Carpintero, 2005).

¹⁸ Véase Statistisches Bundesamt (1998), Stahmer et al. (1997), Hüttler et al. (1996) y Adriaanse et al. (1997) (referenciados en Fischer-Kowalski y Hüttler, 1999).

¹⁹ Los estudios de los flujos hídricos de la economía han sido abordado desde diferentes marcos metodológicos. Estas metodologías se encuentran reflejadas en los trabajos de Fischer-Kowalski (1998) y Fischer-Kowalski y Hüttler (1999), Daniels y Moore (2002) y Daniels (2002).

desde metales, energéticos y químicos, hasta el agua necesaria para fabricar una cafetera o un teléfono. La aportación del instituto Wuppertal en el estudio de los flujos ocultos de la economía es un paso importante desde el enfoque de la economía ecológica ya que el agua es considerada por la economía neoclásica como un bien libre, cuando en realidad es un bien común con increíble valor no siempre monetario (Ayres y Kneese, 1969).

Desde el método del LCA se está avanzando en el desarrollo de la metodología de estimación de la huella hídrica, concepto que a continuación describiremos, como indicador de los flujos hídricos de productos (Ridoutt y Pfister, 2010), encaminándose la investigación a la estandarización de los LCA basados en este indicador²⁰.

Según Martínez Alier (2005) los indicadores de agua virtual (AV) y huella hídrica (HH) analizan los flujos de agua oculta del metabolismo, en analogía con los flujos ocultos de materiales que popularizó el Instituto Wuppertal. Sin embargo, la inmensa mayoría de los trabajos realizados en base a los indicadores de AV y HH no se han planteado desde una perspectiva metabólica, sino desde una óptica puramente contable de flujos hídricos del comercio de las economías. A ello dedicaremos el siguiente apartado.

3.2 El papel de los flujos de agua en el sistema económico. El agua virtual y la huella hídrica

La definición más aceptada actualmente de AV es la planteada por Allan (1993, 1994), al afirmar que la cantidad de agua consumida en el proceso de producción de un producto es la llamada agua virtual asociada al producto, pudiéndose por tanto considerar como un indicador de la responsabilidad de los productores en el uso del agua. Por otro lado, Hoekstra (2003), desarrolló la metodología que permitió cuantificar el concepto. Así, en este intento por cuantificar el AV, Hoekstra definió un nuevo concepto, la huella hídrica (HH) de un país o una persona, como la cantidad de agua que se necesita para consumir determinados bienes o servicios, poniendo pues de relieve las responsabilidades asociadas con el consumo. Esto es, el AV se puede entender como un indicador del consumo de agua desde la producción y la HH desde el consumo (Velázquez et al. 2010).

A partir de la propuesta metodológica realizada por Hoekstra en 2003, se ha aplicado este método y se ha avanzado en su desarrollo en numerosos análisis de estimación de la HH y

²⁰ Se está realizando una guía de implementación del LCA mediante la huella hídrica por el Organismo Internacional para la Estandarización (ISO en sus siglas en inglés).

el AV. Anteriormente a esta propuesta, y con posterioridad también, se han realizado estudios de estos indicadores dentro de metodologías derivadas de otros campos (Velázquez et al. 2010). En Velázquez et al., (2010) se incluye una revisión bibliográfica de las principales aplicaciones de estos indicadores. La revisión que aquí presentamos es la continuación y actualización de este trabajo anterior que queda, sintéticamente, reflejada en la tabla 1. El objetivo ahora es poner de manifiesto que, en general, los primeros trabajos que se realizaron basándose en estos indicadores se redujeron a los simples cálculos de flujos hídricos virtuales de importaciones y exportaciones, excluyendo las interdependencias que existen entre los sistemas económico, social y ambiental. Sin embargo, se aprecia un interesante avance en una doble dirección. Por un lado, en el desarrollo metodológico y por otro en la consideración de las implicaciones políticas, sociales y territoriales que tienen los flujos de agua virtual y su consiguiente contextualización.

Principalmente los análisis de carácter empírico que utilizan el AV y la HH se han concentrado fundamentalmente en productos agrícolas, y se han aplicado a nivel mundial, así como a escala nacional y regional. En base a la escala espacial se presentan, en la tabla 1, los principales trabajos que hasta la fecha han utilizado estos indicadores²¹.

Los trabajos destacables en este sentido son los de Aldaya y Hoekstra (2010), que estudiando el agua necesaria para la producción de la pasta y pizza que se consume en Italia, hacen un claro avance en la contextualización de los flujos hídricos. El trabajo de Chapagain y Orr (2008) analiza las implicaciones de la HH de Gran Bretaña, al igual que Feng et al. (2011). El trabajo de Verma et al. (2009), sobre el Programa Nacional de Unión de Ríos en la India plantea el comercio de AV como una alternativa a los trasvases físicos de agua, reincidiendo a su vez en que dichos trasvases físicos van en dirección contraria a los flujos invisibles de comercio de AV que en la actualidad se dan. En la misma orientación se sitúan los trabajos de Ma et al. (2006) y Zhao et al. (2009), para los trasvases en China.

A nivel regional, Dietzenbacher y Velázquez (2007), Velázquez (2007) y Madrid y Velázquez (2008) analizan los flujos de AV en Andalucía, así como Aldaya y Llamas (2009) analizan los flujos de AV en la cuenca del Guadiana y sobre el mismo estudio de caso, Aldaya et al.

²¹ Dada la proliferación de trabajos y enfoques sobre el tema se ha realizado una investigación exhaustiva pero siendo conscientes de la dificultad de abarcarla en su totalidad.

(2010b) avanzan en las implicaciones de la incorporación del AV y la HH en las políticas. Montesinos et al. (2010) realizan su trabajo centrándose en la cuenca del Guadalquivir.

Por último, Naredo (2009) en su estudio del AV y la HH de la comunidad de Madrid, y Mekkonen y Hoekstra (2010b), en su trabajo de la HH de la exportación de flores en el lago Naivasha en Kenia, avanzan en la realización de análisis más amplios de los flujos de agua, considerando y estimando sus principales implicaciones en conjunto con el ciclo hidrológico en el lugar donde se realiza el análisis.

Tabla 1. Análisis de los flujos hídricos de la economía. Principales estudios de los flujos virtuales por escala geográfica

Escala	Autores
Global	Hoekstra y Hung (2002), Chapagain y Hoekstra (2003a), Yang et al. (2003), Zimmer y Renault (2003), De Fraiture, et al. (2004), Chapagain y Hoekstra (2004), y Hoekstra y Hung (2005), Kummar y Singh (2005) Portmann et al. (2006), Chapagain et al. (2006a), Chapagain et al. (2006b), Berrittella et al. (2007), Hoekstra y Chapagain (2007a), Liu et al. (2007), y Sirajul Islam et al. (2007), Aldaya et al. (2008), Hoekstra y Chapagain (2008), Chapagain y Hoekstra (2008); Gerbens-Leenes y Hoekstra (2008) y Gerbens-Leenes et al. (2008), Hoekstra et al. (2009), Mekkonen y Hoekstra (2010a) y Chapagain y Hoekstra (2010), Aldaya et al. (2010a)
Estatal	Wichelns (2001), Yang y Zehnder (2002), El-Fadel, y Maroun (2003), Haddadin (2003), Oki et al. (2003), Earle y Turton (2003) Yegnes-Botzer (2001), Chapagain y Hoekstra (2003b), Chapagain y Hoekstra (2003c), Ma et al. (2006), Pérez (2006), Hoekstra y Chapagain (2007b), Guan y Hubacek (2007), Van Oel et al. (2008), Schuol et al. (2008), Chapagain y Orr (2008), Liu y Savenije (2008), Galán (2008) Dabrowski et al. (2008), Rodríguez et al. (2008) y Novo et al. (2009), Chapagain y Orr (2009), Dabrowski, et al. (2009), Verma et al. (2009), Zhao et al. (2009), El Sadek (2010), Zhao et al. (2009), Bulsink et al. (2010), Aldaya y Hoekstra (2010), Garrido et al. (2010) y Feng et al. (2011).
Regional	Dietzenbacher y Velázquez (2007), Velázquez (2007), Schendel et al. (2007). Madrid y Velázquez (2008), Brown et al. (2009), Aldaya y Llamas (2009), Naredo (2009) y Aldaya et al. (2010b). Montesinos et al. (2010), Mekkonen y Hoekstra (2010b).

Fuente: Elaboración propia a partir de Velázquez et al. (2010).

No obstante, siendo el AV una herramienta que nos permite analizar los flujos comerciales en términos de agua, la inmensa mayoría de los trabajos no incluyen como complemento a las estimaciones de exportación e importación de AV balances hídricos de las cuencas hidrológicas (por ejemplo, en el caso de la exportación, para saber si esas cuencas son deficitarias o excedentarias). Esto es debido a que, desde el punto de vista metodológico, el concepto de huella hídrica, al haberse originado y desarrollado como una herramienta puramente contable y desde una perspectiva no metabólica, no incluye en su aplicación una clara relación entre la estimación cuantitativa del AV de un lugar y el posible impacto social y/o ambiental que provoca. Por lo tanto, actualmente no queda claro si el resultado de elegir un producto o un sistema de producción es mejor que otro basándose en la HH. Pues de hecho, un producto con menor HH comparado con otro que posea una mayor HH, puede estar provocando impactos negativos dependiendo de la fuente de agua (Ridoutt y Pfister, 2010).

Naredo (2009), en su estudio del AV y la HH de la comunidad de Madrid, aporta un argumento de peso ante tal cuestión, afirmando que el análisis debe abarcar el ciclo hidrológico en su conjunto, considerando y estimando sus principales componentes. Ésto no sólo mejora la calidad de las estimaciones del agua virtual y la huella hídrica, sino que permite advertir las limitaciones que ofrece este tipo de análisis y completarlas con consideraciones más amplias relacionadas con el conjunto de los recursos hídricos en el territorio de estudio.

Por lo tanto, a partir de estas reflexiones, se detectan dos problemas relativos al análisis de flujos de agua en el sistema económico: (1) Desde el análisis del metabolismo socioeconómico, el papel del agua se aborda, en la mayor parte de trabajos, desde la óptica del metabolismo puramente contable. (2) Asimismo, en los trabajos realizados sobre el papel de los flujos de agua en el sistema económico, mediante los indicadores de AV y la HH, se detecta el mismo problema; la lógica contable prevalece aunque se denota una evolución en algunas aplicaciones actuales.

Estos nos lleva a plantear que existe la necesidad de un marco de estudio que englobe el análisis de los flujos hídricos de una economía desde una perspectiva sistémica entendiendo el metabolismo como un marco de análisis.

4. El metabolismo hídrico. Cuantificación y contextualización

A partir del análisis realizado anteriormente proponemos entender y definir el metabolismo hídrico (MH) como un marco de análisis que cuantifica los flujos hídricos de la economía y refleja la dimensión social, ambiental, tecnológica, geográfica e institucional que corresponde a la parte intangible del metabolismo, inseparable de la parte tangible si consideramos el agua como activo ecosocial, tal como plantea Aguilera (1998).

Si, como hemos expuesto anteriormente, entendemos que el metabolismo, estudia las relaciones entre el sistema social, ambiental, económico, etc., se debe insertar en un contexto institucional y cultural del que es interdependiente. Esta “interdependencia”, ejemplificada en el caso del metabolismo hídrico, es aún más clara.

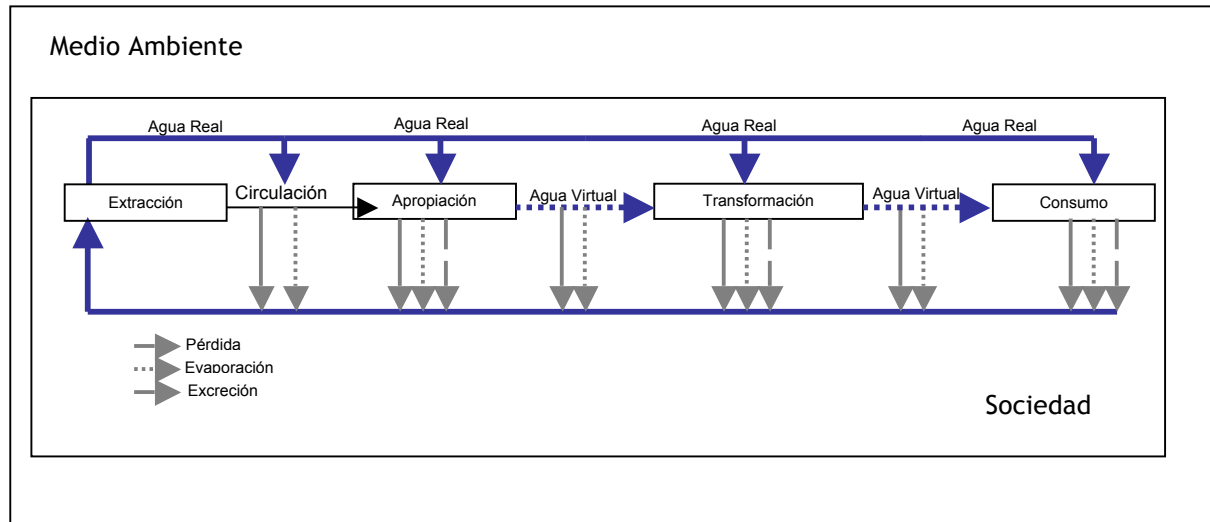
El recurso agua, determinado por sus características, es un bien común que, además de constituir la fuente de la vida, adquiere un valor cultural dependiendo del uso que las sociedades hagan de él (Shiva, 2002). Es así un recurso en el que se ve claramente que su gestión está ligada al territorio (Aguilera, 1998) y que para abordar los problemas de gestión del agua, las soluciones que pueden parecer ser efectivas a una escala reducida, si se tienen en cuenta la interrelación con los demás sistemas, ampliando de esta manera la escala de análisis, se puede demostrar que el conocimiento requerido para abordar la complejidad de los sistemas es mayor.

En nuestra propuesta de MH, al relacionar los flujos de agua con el contexto que les envuelve, como afirma Naredo (2009), somos conscientes de que esta ampliación del razonamiento se quedaría a mitad de camino si se limitara al agua; por lo tanto los análisis del metabolismo hídrico se debe relacionar con el conjunto de los flujos y requerimientos del metabolismo económico.

No obstante nuestro objetivo a nivel teórico en esta primera fase, es avanzar en una propuesta que siguiendo el razonamiento anterior por el que creemos que es necesario pasar de entender el metabolismo como una mera herramienta metodológica a entenderlo como un marco de análisis, proponemos entender el MH como un marco de estudio que nos permita cuantificar los flujos de agua y que sea capaz de explicar los procesos incluidos en la “caja negra” de la que hablan González de Molina y Toledo (2009), introduciendo los flujos de información y la necesaria contextualización en cada uno de ellos.

En la gráfica 5 podemos observar el esquema que a nivel teórico consideramos adecuado para este acercamiento al estudio del MH del sistema económico.

Gráfico 5. El MH entendido como marco de análisis



Fuente: Elaboración propia.

Antes de continuar, definimos cada uno de los términos que aparecen en la gráfica 5.

Agua Real- Es el agua que se capta directamente desde el ecosistema (y circula, en su caso, para poder ser consumida) por cada una de las fases del proceso metabólico. El agua real es, normalmente, agua superficial o subterránea.

Agua Virtual- Según la definición de Allan (1993) es el agua requerida para generar un producto o servicio.

Pérdidas- Por pérdidas entendemos aquella cantidad de agua que en cada fase vuelve al sistema y no es “apropiada”, desde el punto de vista puramente “utilitarista”, para la generación del producto.

Excreción- Es el agua generada por cada fase una vez utilizada y devuelta al ecosistema, normalmente, contaminada.

Evaporación- Es la cantidad de agua que, por acción de la temperatura y de la humedad del ambiente, vuelve al sistema sin que pueda ser “apropiada” socialmente para la generación de productos o servicios.

Para interpretar el gráfico 5, hay que hacer dos consideraciones previas: 1) el proceso que analizamos es el metabolismo hídrico del proceso de producción-consumo²², en el que cada fase del proceso tiene su propio metabolismo hídrico, esto es, tiene entradas y salidas de agua, en forma real y virtual. La diferencia entre el agua virtual y real es esencial en nuestro caso ya que nos ayuda a contextualizar esos flujos que circulan por el sistema económico, de manera que el agua real que se extrae del ecosistema tiene unos impactos y sufre unas pérdidas en el proceso de circulación (que explicaremos a continuación), que merecen ser tenidas en consideración. Esta distinción repercutiría de forma importante a la hora de realizar las estimaciones del metabolismo de manera que metodológicamente hablando, el agua virtual sería el agua contenida en los productos²³, diferenciándonos de esta manera de la investigación de Hoekstra y sus colaboradores²⁴, en nuestra intención de recalcar la importancia del contexto de esos flujos; 2) Por este motivo, como se puede observar en el gráfico, hemos adaptado el marco de análisis del metabolismo social definido anteriormente al caso del análisis del metabolismo hídrico, con la diferencia de que en este caso el proceso de circulación es un proceso de mediación entre los diferentes procesos.

El proceso producción-consumo que estamos analizando comienza en la fase de extracción de agua del ecosistema y finaliza con el consumo de productos generados. De esta forma, la fase de apropiación correspondería al sector económico agrícola, y la de transformación a los sectores industrial y de servicios. La fase de consumo se refiere al consumo de productos. A su vez, cada fase, dependiendo de la escala y del detalle de estudio, podría contener las cinco fases del proceso de metabolismo.

Entonces, el recorrido a través de la gráfica 5 comenzaría cuando el agua extraída del ecosistema (agua real) circula y en esta primera circulación desde la extracción hasta la apropiación se producen unas pérdidas (debido a las pérdidas en las infraestructuras de distribución del agua para regadío) y una evaporación (que será mayor cuanto mayor sea la

²² De esta forma, se puede analizar el proceso de producción-consumo completo o alguna de sus fases independientemente.

²³ No obstante, esto dependería del estudio de caso. Desde el punto de vista metodológico, según Naredo (2009), el agua virtual de los bienes y servicios se igualaría al agua real utilizada en la producción de los mismos, puesto que el agua contenida es despreciable. En el caso de los productos agrícolas esta similitud no sería cierta por lo que según nuestro esquema el agua real (mas las pérdidas, evaporación y excreción), sería el agua necesaria para generar un producto y el agua virtual resultaría el agua contenida en los productos agrícolas.

²⁴ En el trabajo de Hoekstra et al. (2009) se incluye una interesante discusión sobre si sería necesario redefinir la HH en función de la metodología de LCA (Ridoutt y Pfister, 2010), o como señalan Hoekstra et al. (2009), cómo el análisis de la HH desarrollado por estos autores puede contribuir al LCA. No es objeto de este trabajo incidir en esta discusión que dejamos para posteriores desarrollos metodológicos.

distancia recorrida en la fase de circulación y cuanto mayor sea la temperatura y la humedad del territorio recorrido).

En la fase de apropiación hay dos entradas de agua, ambas consideradas como agua real. Una que llega a través de la circulación (anteriormente mencionada), sería agua superficial y subterránea (deducidas las pérdidas y la evaporación de la circulación anterior); y otra que sería el agua retenida en el suelo. En esta fase se producen las cuatro salidas de agua: 1) pérdida debida a las infraestructuras del regadío; 2) evaporación en su caso cuando la tecnología de riego es por inundación o aspersión (considerados los factores climáticos correspondientes); 3) excreción, debido al agua residual que vuelve al sistema, pudiendo estar o no generalmente contaminada, dependiendo del estudio de caso, una vez utilizada para el riego; 4) agua virtual, que sería el agua contenida en los productos generados, dependiendo de la diferenciación citada anteriormente.

En la fase de transformación hay dos entradas de agua. Agua real, que se capta en el ecosistema (sistemas de almacenamiento superficial o subterráneos) y se transporta mediante las infraestructuras hidráulicas correspondientes; y otra virtual, a través de los productos que proceden de la fase de apropiación. Las salidas de agua son las mismas (cada una con sus propias características) que en la fase anterior.

Por último, en la fase de consumo, hay nuevamente dos entradas de agua: 1) agua real captada del ecosistema y circula a través de las redes de distribución para abastecimiento del consumidor; 2) agua virtual, a través de los productos consumidos por los consumidores. Las salidas son las mismas que en las fases anteriores.

Es importante destacar que este esquema es una propuesta para el análisis del metabolismo hídrico de un proceso producción-consumo que tendría que ser adaptado en cada fase, en función del objeto y objetivo de estudio en cada caso y que consideramos un primer avance en la investigación.

Para finalizar este análisis, el esquema anterior nos serviría para conocer los flujos de agua, cuantitativamente hablando, en el proceso metabólico de los procesos de producción y consumo. Sin embargo, nos haría falta conocer también las fuerzas que motivan y empujan estos cambios si queremos realmente entender por qué ocurren. Las fuerzas del cambio en los flujos del agua se producen por la confrontación de los recursos disponibles y de los requerimientos de los mismos. Así, antes de entrar a analizar las fuerzas en sí, habría que conocer: 1) El balance hídrico: capacidad de apropiación. Esto hace referencia a la cantidad y calidad del recurso, es decir, los recursos disponibles. Igualmente hay que

estudiar los factores de cambio en la capacidad de apropiación: ¿De qué depende la capacidad de apropiación? ¿Qué reglas del juego permiten esos cambios? ¿Hay también condicionantes naturales, como el cambio climático, que afectan? 2) Requerimientos y consumo de agua ¿cuáles son los consumos de agua? ¿Hay una mayor diversificación? ¿En qué consiste esa diversificación?

Para entrar a analizar las fuerzas del cambio habría que estudiar aspectos como la distribución social del agua: ¿Quién se la apropia? ¿Cuáles son las reglas del juego que permiten esa distribución? ¿Cómo cambian esas reglas para que cambie la apropiación? Las decisiones políticas nos indicaran cuestiones del tipo: ¿Cómo las decisiones políticas condicionan y cambian la distribución del recurso? Asimismo se deben analizar los conflictos generados por la apropiación y cuáles son los impactos ambientales implicados en el estudio de caso. Así, estas fuerzas del cambio y estas cuestiones nos llevan a recalcar la importancia de la contextualización.

5. Conclusiones y reflexiones finales

El metabolismo es, por definición, un estudio sistémico de las interdependencias entre sociedad, economía y naturaleza, en el que la diversidad de enfoques deriva de los diferentes marcos conceptuales desde los cuales se aplica esta herramienta. Esta diversidad, sin embargo, conlleva una confusión sobre lo que debe implicar un análisis del metabolismo de una socioeconomía. De esta forma, se genera el debate sobre la cuestión de qué es metabolismo. Ciertamente, es un avance en la incorporación del *análisis* de la dimensión física en los procesos económicos. Sin embargo, nos preguntamos si para realizar este *análisis* de la dimensión física al incorporarla en los procesos económicos, es suficiente con la mera estimación cuantitativa en términos físicos. Por otra parte, nos preguntamos si puede ser separada esta dimensión física de las dimensiones “intangibles”, que citan González de Molina y Toledo (2009) en su trabajo, y si es función de la disciplina ampliar el enfoque hacia unos análisis más amplios, corresponde a otras disciplinas el hacerlo, o es mas bien una cuestión de enfoque transdisciplinar como nos plantea la economía ecológica.

¿El no incluir análisis mas integrados de las interdependencias de los flujos físicos con las demás dimensiones en los trabajos de metabolismo corresponde a una cuestión de escala, o es, en ocasiones, una falta de voluntad política? Esto nos lleva a su vez a preguntarnos si podría ocurrir que el metabolismo pasara a ser una metáfora que “muera de éxito”.

Derivado de este debate entendemos que el metabolismo hídrico del proceso económico es un campo de estudio actualmente en desarrollo en el que planteamos una primera propuesta teórica que abarque la complejidad del sistema que queremos analizar siendo conscientes de que a su vez, la ciencia trabaja mediante la simplificación de la realidad. En palabras de Morin (1993, 67) “el conocimiento debe, ciertamente, utilizar la abstracción, pero intentando construirse por referencia a un contexto y, por eso, debe movilizar lo que el conocedor sabe del mundo”. Esta dualidad implica que, la aplicación del metabolismo hídrico deba adaptarse a cada situación, de tal manera que los estudios de caso deben ser concretos y permitir la flexibilidad de la herramienta contable a la vez que se considera que no es posible contabilizarlo todo y que la contextualización de los flujos de información que subyacen a la parte material del metabolismo es importante para no caer en un reduccionismo físico, o en nuestro caso, hídrico.

Agradecimientos

La segunda autora pertenece al equipo de trabajo del proyecto de I+D+I: “Transformaciones agrarias y cambios en el paisaje, 1752-2008. Una contribución al estudio de la transición socioecológica en Andalucía”. Las autoras agradecen a los miembros de dicho grupo los comentarios y las aportaciones realizadas. En especial al Profesor Doctor Manuel González de Molina y al Profesor Doctor Juan Infante.

Referencias

- Adriaanse, A., Bringezu, S., Hammond, A., Moriguchi, Y., Rodenburg, E., Rogich, D., Schutz, H. (1997). *Resource Flows: The Material Basis of Industrial Economies*, Washington, DC: World Resources Institute.
- Aguilera, F. (1991). “La tragedia de los comunes o la tragedia de la malinterpretación en economía”. *Agricultura y sociedad*, 61: 157-181.
- Aguilera, F. (1998). “Hacia una nueva economía del agua: cuestiones fundamentales”. VVAA (1998): El agua a debate desde la Universidad: Hacia una nueva cultura del agua. Congreso Ibérico sobre gestión y planificación de aguas. Ed. Arrojo y Martínez, Zaragoza.
- Aguilera, F. (2009). La economía como sistema abierto: de la disociación a la integración. Recuperado el 27 de septiembre de 2010, de http://www.ecoport.net/Temas_Especiales/Economia/la_economia_como_sistema_abierto_de_la_disociacion_a_la_integracion.
- Aldaya, M., Hoekstra, A., Allan, J. (2008). “Strategic importance of green water in international crop trade”. *Value of Water Research Report Series*. 25. UNESCO: IHE, Institute for water education, Delf, the Netherlands.
- Aldaya, M., Llamas, M. (2009). “Water Footprint Analysis (Hydrologic and Economic) of the Guadiana River Basin”. *United Nations World Water Development*. 3. UNESCO: World Water Assessment Programme.
- Aldaya, M., Hoekstra, A. (2010). “The water needed for Italians to eat pasta and pizza”. *Agricultural Systems*, 103: 351-360.

- Aldaya, M., Muñoz, G., Hoekstra, A. (2010a). “Water Footprint of cotton, wheat and rice production in Central Asia”. *Value of Water Research Report Series. 41*. UNESCO: IHE, Institute for water education, Delf, the Netherlands.
- Aldaya, M., Martínez, P., Llamas, M. (2010b). “Incorporating the Water Footprint and Virtual Water into Policy: Reflections from the Mancha Occidental Region, Spain”. *Water Resource Management, 24*: 941-958.
- Allan, J. (1993). “Fortunately there are substitutes for water otherwise our hydro-political futures would be impossible”, en ODA, *Priorities for water resources allocation and management*, London: ODA.
- Allan, J. (1994). “Overall perspectives on countries and regions”, en Rogers, P., Lydon, P. *Water in the Arab World: perspectives and prognoses*. Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press.
- Allen, D. (2002). “Wastes as raw materials”. En Ayres, R., Ayres, L. (eds.), *A Handbook of Industrial Ecology* (pp.405-421). Londres: Edward Elgar Publishing, Inc.
- Ayres, R. (2000). “Environmental concerns and sustainable industrial development”, en *Report on World Industry in the Coming Decades: Industrial Development Global Report*, Vienna, Austria: UNIDO.
- Ayres, R., Ayres, L. (1998). *Accounting for Resources 1: Economy-wide Applications of Mass-balance Principles to Materials and Waste*. Cheltenham, UK and Lyme, MA: Edward Elgar.
- Ayres, R. y Ayres, L. (2002) (eds.). *A Handbook of industrial ecology*. Londres: Edward Elgar Publishing, Inc.
- Ayres, R., Kneese, A. (1968). “Pollution and environmental quality”, en Perloff (ed.), *The quality of urban development*. Baltimore: Johns Hopkins University Press.
- Ayres, R., Kneese, A. (1969). “Production, consumption and externalities”. *American Economic Review, 59*(3): 282-97.

- Ayres, R., Kneese, A. (1989). “Externalities: Economics and thermodynamics”, en Archibugi and Nijkamp (eds), *Economy and Ecology: Towards Sustainable Development*, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- Berrittella, M., Hoekstra, A., Rehdanz, K., Rosond, R., Tol, R. (2007). “The economic impact of restricted water supply: A computable general equilibrium analysis” *Water Research*, 41: 1799- 1813.
- Bringezu, S., Fischer-Kowalsky, M., Kleijn, R., Palm, V., (eds) (1997). “Regional and National Material Flow Accounting: From Paradigm to Practice of Sustainability”. *Leiden, Wuppertal Special 4*.
- Brown, S., Schreier, H., Lavkulich, L. (2009). “Incorporating Virtual Water into Water Management: A British Columbia Example”. *Water Resource Management*, 23 (13): 2681-2696.
- Bulsink, F., Hoekstra, A., Booij, M. (2010). “The water footprint of Indonesian provinces related to the consumption of crop products”. *Hydrology Earth System Sciences*, 14: 119-128.
- Carpintero, O. (2005). *El metabolismo de la economía española. Recursos naturales y huella ecológica (1955-2000)*. Madrid: Fundación Cesar Manrique.
- Chapagain, A., Hoekstra, A. (2003a) . “Virtual water flows between nations in relation to trade in livestock and livestock products”. *Value of Water Research Report Series*. 13. UNESCO: IHE, Institute for water education, Delf, the Netherlands.
- Chapagain, A., Hoekstra, A. (2003b). “The water needed to have the dutch drink tea”. *Value of water research report series*. 15. UNESCO: IHE, Institute for water education, Delf, the Netherlands.
- Chapagain, A., Hoekstra, A. (2003c). “The water needed to have the dutch drink coffee”. *Value of water research report series*. 14. UNESCO: IHE, Institute for water education, Delf, the Netherlands.

- Chapagain, A., Hoekstra, A. (2004). “Water footprints of Nations”. *Value of Water Research Report Series. 16*. UNESCO: IHE, Institute for water education, Delf, the Netherlands.
- Chapagain, A., Hoekstra, A. (2008). “The global component of freshwater demand and supply: an assessment of virtual water flows between nations as a result of trade in agricultural and industrial products”. *Water International*, 33:19-32.
- Chapagain, A., Hoekstra, A. (2010). “The blue, green and grey water footprint of rice from production and consumption perspectives”. *Ecological Economics*, en prensa (DOI: 10.1016/j.ecolecon.2010.11.012).
- Chapagain, A., Hoekstra, A., Savenije, H. (2006a). “Water saving through international trade of agricultural products”. *Hydrology and Earth System Sciences*, 10: 455-468.
- Chapagain, A., Hoekstra, A., Savenije, H., Gautam R. (2006b). “The water footprint of cotton consumption: An assessment of the impact of worldwide consumption of cotton products on the water resources in the cotton producing countries”. *Ecological Economics*, 60: 186-203
- Chapagain, A., Orr, S. (2008). “UK Water Footprint: the impact of the UK’s food and fibre consumption on global water resources”. WWF-UK.
- Chapagain, A., Orr, S. (2009). “An improved water footprint methodology linking global consumption to local water resources: A case of Spanish tomatoes”. *Journal of Environmental Management*, 90: 1219-1228.
- Dabrowski, J., Masekoameng, E., Ashton, P. (2008). “Analysis of virtual water flows associated with the trade of maize in the SADC region: importance of scale”. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, 5: 2727-2757.
- Dabrowski, J., Murray, K., Ashton, P., Leaner, J. (2009). “Agricultural impacts on water quality and implications for virtual water trading decisions”. *Ecological Economics*, 68: 1074-1082.

- Daniels, P. (2002). "Approaches for Quantifying the Metabolism of Physical Economies: A comparative survey. Part II: Review of individual Approaches". *Journal of Industrial Ecology*, 6 (1): 65-87.
- Daniels, P., Moore, S. (2002). "Approaches for Quantifying the Metabolism of Physical Economies: A comparative survey. Part I: Methodological Overview". *Journal of Industrial Ecology*, 5 (4): 69-93.
- De Fraiture, C., Cai, X., Amarasinghe, U., Rosegrant, M., Molden, D. (2004). "Does International Cereal Trade Save Water? The Impact of Virtual Water Trade on Global Water Use". *Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture*. International Water Management Institute.
- Dietzenbacher, E., Velázquez, E. (2007). "Analyzing Andalusian virtual water trade in an input-output framework". *Regional Studies*, 41 (2): 185-196.
- Earle, A., Turton, A. (2003). "The virtual water trade amongst countries of the SADC". Virtual Water Trade. Proceedings of the International Expert Meeting on Virtual Water Trade. *Values of Water Research Report Series n° 12*. IHE, Delft, Holanda.
- Ehrenfeld, J. y Chertow, M. (2002). "Industrial symbiosis: the legacy of Kalundborg". En Ayres, R., Ayres, L. (eds.), *A Handbook of Industrial Ecology* (pp.334-351). Londres: Edward Elgar Publishing, Inc.
- Eisenmenger, N., Ramos, J., Schandl, H. (2007). "Análisis del metabolismo energético y de materiales de Brasil, Chile y Venezuela". *Revista Iberoamericana de Economía Ecológica*, 6: 17-39.
- El-Fadel, M., Maroun, R. (2003). "The concept of 'virtual water' and its applicability in Lebanon". Virtual Water Trade. Proceedings of the International Expert Meeting on Virtual Water Trade. *Values of Water Research Report Series n° 12*. IHE, Delft, Holanda.
- El-Sadek, A. (2010). "Virtual Water Trade as a Solution for Water Scarcity in Egypt". *Water Resource Management*, 24:2437-2448.
- Erkman, S. (2002). "The recent history of industrial ecology". En Ayres, R., Ayres, L. (eds.),

A Handbook of Industrial Ecology (pp.27-35). Londres: Edward Elgar Publishing, Inc.

Eurostat (2001). *Economy-wide Material Flow Accounts and Derived Indicators: A methodological guide*. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.

Feng, H., Hubacek K., Minx J., Ling Siu Y., Chapagain A. (2011). “Spatially Explicit Analysis of Water Footprints in the UK”. *Water*, 3: 47-63.

Fischer-Kowalski, M. (1997). “Society's Metabolism. On the Childhood and Adolescence of a Rising Conceptual Star”. En Redclift, M., Woodgate, G. *The International Handbook of Environmental Sociology*. (pp. 119-137). Cheltenham: Edward Elgar.

Fischer-Kowalski, M., 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. (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., Hüttler, W. (1999). “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., Weisz, H. (1999). “Society as hybrid between material and symbolic realms. Toward a theoretical Framework of society-nature interaction”. *Advances in Human Ecology*, 8: 215-251.

Fischer-Kowalski, M., Haberl, H. (2007). *Socioecological Transitions and Global Change*. Cheltenham: Edward Elgar.

Frosch, R., Gallopoulos, N. (1989). “Strategies for manufacturing”. *Scientific American*, 261(3): 94-102.

Funtowicz, S., Ravetz, J. (2000). *La ciencia posnormal*. Barcelona: Icaria editorial.

Galán, E. (2008). *De agua a energía: el agua virtual asociada y la Huella Hídrica de la producción de biocarburantes en España para los objetivos de consumo de 2010*.

Tesina no publicada. Universidad Autónoma de Barcelona. Barcelona.

Garrabou, R., González de Molina, M. (coordinadores) (2006). *Revista de Historia Agraria*, nº 40.

Garrido, A., Llamas, R., Varela, C., Novo, P., Rodríguez, R., Aldaya, M. (2010). *Water Footprint and Virtual Water Trade in Spain*. Madrid: Springer.

Gerbens-Leenes, P., Hoekstra, A. (2008). "The water footprint of bio-energy: Global water use for bio-ethanol, bio-diesel, heat and electricity". *Value of Water Research Report Series*. 34. UNESCO: IHE, Institute for water education, Delf, the Netherlands.

Gerbens-Leenes, P., Hoekstra, A., Van der Meer, T. (2008). "The water footprint of energy from biomass: A quantitative assessment and consequences of an increasing share of bio-energy in energy supply". *Ecological Economics*, 68:1052-1060.

Giampietro, M. (2004). *Multi-Scale integrated analysis of agroecosystems*. Florida: CRC Press.

Giampietro, M., Mayumi, K., Ramos-Martin, J. (2009). "Multi-scale integrated analysis of societal and ecosystem metabolism (MuSIASEM): Theoretical concepts and basic rationale". *Energy*, 34 (3): 313-322.

Giljum, S., Hubacek, K. (2001). "Internacional trade, materials flows and land use: develop a physical trade balance in the European Union". *Interim Report, IR-01-059*. International Institute for Applied Systems Analysis, Laxemburg.

González de Molina, M., Toledo, V. (2009). *Metabolismos, naturaleza e Historia. Una teoría de las transformaciones socioecológicas*. Madrid, Akal, en prensa

Gravgard, O. (1998). "Physical input-output Tables for Denmark, 1990". Extract of a forthcoming report on physical input-output tables and emissions accounts for Denmark, 1990, Copenhagen: Statistics Denmark.

Guan, D., Hubacek, K. (2007). "Assessment of regional trade and virtual water flows in China". *Ecological Economics*, 61: 159-170.

- Haberl, H., Fischer-Kowalski, M., Krausmann, F., Martinez-Alier, J., Winiwarter, V. (2011). "A Socio-metabolic Transition towards Sustainability? Challenges for Another Great Transformation". *Sustainable Development*, 19:1-14.
- Haddadin, M. (2003). "Exogenous water: A conduit to globalization of water resources". Virtual Water Trade. Proceedings of the International Expert Meeting on Virtual Water Trade. *Values of Water Research Report Series n° 12*. IHE, Delft, Holanda.
- Hoekstra, A. (2003). "Virtual Water: An introduction". Virtual Water Trade. Proceedings of the International Expert Meeting on Virtual Water Trade. *Values of Water Research Report Series n° 12*. IHE, Delft, Holanda.
- Hoekstra, A., Hung P. (2002). "Virtual Water trade: a quantification of virtual water flows between nations in relation to crop trade". *Value of Water Research Report Series. 11*. UNESCO: IHE, Institute for water education, Delf, the Netherlands
- Hoekstra, A., Hung P. (2005). "Globalisation of water resources: international virtual water flows in relation to crop trade". *Global Environmental Change*, 15: 45-56.
- Hoekstra, A., Chapagain, A. (2007a). "Water footprints of nations: Water use by people as a function of their consumption pattern". *Water resource management*, 21: 35-48.
- Hoekstra, A., Chapagain, A. (2007b). "The water footprints of Morocco and the Netherlands: Global water use as a result of domestic consumption of agricultural commodities". *Ecological Economics*, 64: 143-151.
- Hoekstra, A., Chapagain, A. (2008). *Globalization of Water: Sharing the Planet's Freshwater Resources*. Oxford, UK: Blackwell Publishing Ltd.
- Hoekstra, A., Chapagain, A., Aldaya, M., Mekonnen, M. (2009). *Water Footprint Manual*. The Netherlands: WaterFootprint Network.
- Hubacek, K., Sun, L. (2005). "Economic and Societal Changes in China and their Effects on Water Use. A Scenario Analysis". *Journal of Industrial Ecology*, 9: 187-200.

- Huttler, W., Payer, H., Schandl, H. (1996). "National materials flow analysis for Austria- society's metabolism and sustainable development". Summary. Vienna: Schriftenreihe des Bundesministeriums für Umwelt, Jugend und Familie, 4/96.
- Johansson, A. (2002). "Industrial ecology and industrial metabolism: use and misuse of metaphors". En Ayres, R., Ayres, L. (eds.), *A Handbook of Industrial Ecology* (pp.70-75). Londres: Edward Elgar Publishing, Inc.
- Krausmann, F., Schandl, H., Siefert, R. (2008). "Socio-ecological regime transitions in Austria and the United Kingdom". *Ecological Economics*, 65: 187-201.
- Krausmann, F., Haberl, H., Erb, K.-H., Wiesinger, M., Gaube, V., Gingrich, S. (2009). "What determines geographical patterns of the global human appropriation of net primary production?". *Journal of Land Use Science*, 4 (1): 15-34.
- Kummar, D., Singh, O. (2005). "Virtual Water in Global Food and Water Policy Making: Is there a Need for Rethinking?". *Water Resources Management*, 19: 759-789.
- Liu, J., Williams J., Zehnder A., Yang H. (2007). "GEPIC- modelling wheat yield and crop water productivity with high resolution on a global scale". *Agricultural Systems*, 94: 478- 493.
- Liu, J., Savenije, H. (2008). "Food consumption patterns and their effect on water requirement in China". *Hydrology and Earth Systems Sciences*, 12: 887-898.
- Ma, J., Hoekstra, A., Wang, H., Chapagain, A., Wang, D. (2006). "Virtual versus real water transfers within China". *Philosophical Transactions*, 361: 835-842.
- Madrid, C., Velázquez, E. (2008). "El metabolismo hídrico y los flujos de agua virtual. Una aplicación al sector hortofrutícola de Andalucía (España)". *Revista Iberoamericana de Economía Ecológica*, 8: 29-47.
- Martinez-Alier, J. (2004). "Los conflictos ecológico-distributivos y los indicadores de sustentabilidad". *Revista Iberoamericana de Economía Ecológica*, 1: 21-30.
- Martínez- Alier, J. (2005). *El ecologismo de los pobres*. Barcelona: Icaria

- Matthews, E., Amann, C., Fischer-Kowalski, M., Bringezu, S., Huttler, W., Kleijn, R., Moriguchi, Y., Ottke, C., Rodenburg, E., Rogich, D., Schandl, H., Schutz, H., Van der Voet, E., Weisz, H. (2000). *The Weight of Nations: Material Outflows from Industrial Economies*. Washington, DC: World Resources Institute.
- Mekkonen, M., Hoekstra, A. (2010a). “A global and high-resolution assessment of the green, blue and grey water footprint of wheat”. *Hydrology Earth Systems Sciences*, 14: 1259-1276.
- Mekkonen, M., Hoekstra, A. (2010b). “Mitigating the Water Footprint of export cut flowers from the lake Naivasha basin, Kenya”. *Values of Water Research Report Series n° 45*. IHE, Delft, Holanda.
- Montesinos, P., Camacho, E., Campos, B., Rodríguez-Díaz, J. (2010). “Analysis of Virtual Irrigation Water. Application to Water Resources Management in a Mediterranean River Basin”. *Water Resource Management*, en prensa, (DOI: 10.1007/s11269-010-9765-y).
- Muradian, R., Giljum, S. (2007). “Physical Trade Flows of pollution-intensive products: historical trends in Europe and the world”, en Hornborg, A., McNeill, J.R., Martinez-Alier, J., (eds.), *Rethinking environmental history: World-System History and Global Environmental Change* (pp. 307-325). Lanham: Altamira Press.
- Muradian, R., Martinez-Alier, J. (2001). “Trade and environment: from “Sourthen” perspective”. *Ecological Economics*, 36: 286-297.
- Morin, E. (1993). “El desafío de la globalidad”. *Archipiélago*, 16: 66-72.
- Naredo, J.M. (2006). *Raíces económicas del deterioro ecológico y social. Más allá de los dogmas*. Madrid: Siglo XXI.
- Naredo, J. M. (Coordinador). (2009). “El agua virtual y la huella hidrológica en la comunidad de Madrid”. *Informe de I+D+I*. Canal de Isabel II. Madrid.
- Naredo, J. M., Valero, A. (1999) (dirs.) *Desarrollo económico y deterioro ecológico*. Madrid: Fundación Argentaria.

- Novo, P., Garrido, A., Varela-Ortega, C. (2009). “Are virtual water “flows” in Spain grain trade consistent with relative water scarcity?”. *Ecological Economics*, 68: 1454-1464.
- Núñez, M., Oliver-Solà, J., Rieradevall, J., Gabarrell, X. (2009). “Water Management in Integrated Service Systems: Accounting for Water Flows in Urban Areas”. *Water Resources Management*, 24:1583-1604.
- Oki, T., Sato, M., Kawamura, A., Miyake, M., Kanae, S., Musiake, K. (2003). “Virtual water trade to Japan and in the world”. Virtual Water Trade. Proceedings of the International Expert Meeting on Virtual Water Trade. *Values of Water Research Report Series n° 12*. IHE, Delft, Holanda.
- Pérez, A. (2006). “Comercio exterior y flujos hídricos en la agricultura colombiana: análisis para el periodo 1961-2004”. *Revista Iberoamericana de Economía Ecológica*, 4: 3-16.
- Portmann, F., Siebert, S., Döll, P. (2006). “Global database of monthly crop-specific irrigated areas around the year 2000”. Conference on International Agricultural Research for Development. Bonn. Germany.
- Ramos, J. (2005). *Complex Systems and exosomatic energy metabolism of human societies*. Tesis doctoral no publicada, Universidad Autónoma de Barcelona, Barcelona.
- Ramos, J., Cañellas, S., Giampietro, M., Gamboa, G. (2009). “Catalonia’s energy metabolism: using the MuSIASEM approach at different scales”. *Energy Policy*, en prensa, (DOI:10.1016/j.enpol.2009.06.028).
- Reid, L., Graedel, T. (2002). “Industrial ecology: goals and definitions”. En Ayres, R., Ayres, L. (eds.), *A Handbook of Industrial Ecology* (pp.3-15). Londres: Edward Elgar Publishing, Inc.
- Ridoutt, B., Pfister, S. (2010). “A revised approach to water footprinting to make transparent the impacts of consumption and production on global freshwater scarcity”. *Global Environmental Change*, 20: 113- 120.
- Rodríguez, R., Garrido, A., Llamas, M., Varela, C. (2008). “La Huella Hidrológica de la

Agricultura Española”. *Papeles de Agua Virtual*. Fundación Marcelino Botín.

Rogich, D., Matos, G. (2002). “Material flow accounts: the USA and the world”. En Ayres, R., Ayres, L. (eds.), *A Handbook of Industrial Ecology* (pp.260-288). Londres: Edward Elgar Publishing, Inc.

Schandl, H., Schulz, N. (2002). “Industrial ecology: the UK”. En Ayres, R., Ayres, L. (eds.), *A Handbook of Industrial Ecology* (pp.323-334). Londres: Edward Elgar Publishing, Inc.

Schendel, E., Macdonald, J., Schreier, H., Lavkulich, L. (2007). “Virtual Water: a framework for comparative regional resource assessment”. *Journal of Environmental Assessment Policy and Management*, 9 (3): 341-355.

Shiva, V. (2002). *Las guerras del agua*. Barcelona: Icaria

Schmidt-Bleek, F. (1993). “MIPS - A Universal Ecological Measure?”. *Fresenius Environmental Bulletin*, 2: 206-311.

Schmidt-Bleek, F. (1994). *Wieviel Umwelt braucht der Mensch? MIPS - Das Maß für ökologisches Wirtschaften*. Berlin, Basel, Boston.

Schmidt-Bleek, F. (1998). *Das MIPS-Konzept. Weniger Naturverbrauch-mehr lebensqualität durch Faktor 10*, Bickhäuserverlag.

Schutz, H., Bringezu, S. (1993). “Major material flows in Germany”. *Fresenius Environmental Bulletin*, 2: 443-8.

Schuol, J., Abbaspour, K., Yang, H., Srinivasan, R., Zehnder, A. (2008). “Modeling blue and green water availability in Africa”. *Water resources research*, 44: 1-18.

Sirajul Islam, M., Oki, T., Kanae, S., Hanasaki, N., Agata, Y., Yoshimura, Y. (2007). “A grid-based assessment of global water scarcity including virtual water trading”. *Water Resource Management*, 21: 19-33.

Stahmer, C., Kuhn, M., Braun, N. (1997). *Physische Input-Output-Tabelle 1990*. (Physical input-output charts 1990). Schriftenreihe “Beiträge zu den Umweltökonomischen

Gesamtrechnungen.” Band 1. Herausgegeben vom Statistischen Bundesamt. German Federal Statistical Office. Wiesbaden.

Statistisches Bundesamt (eds). (1998). Fachserie 19 “Umwelt”; Reihe 5: Umweltsökonomische Gesamtrechnungen. Material- und Energieflusssrechnungen 1997. (Total environmental-economical accounts. Material and energy flows accounts 1997). German Federal Statistical Office. Wiesbaden.

Steurer, A. (1992). Stoffstrombilanz Österreich 1988. Schriftenreihe des IFF-Soziale Ökologie, Band. 26. (Substance flow balance for Austria 1988. IFF School of Social Ecology Working Papers, Number 26).

Steurer, A. (1994). Stoffstrombilanz Österreich 1970-1990. Schriftenreihe des IFF-Soziale Ökologie, Band. 34. (Substance flow balance for Austria 1970-1990. IFF School of Social Ecology Working Papers, Number 34).

Steurer, A. (1996). “Materials flow accounting and analysis: Where to go at an European level”. *Proceedings of the Third Meeting of the London Group on Natural Resource and Environmental Accounting*, Stockholm: Statistics Sweden, pp. 217-219.

Stigliani, W., Jaffe, P. (1993). “Industrial Metabolism and River Basin Studies: A New Approach for the Analysis of Chemical Pollution”. *IIASA Research Report RR-93-6*. International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, Austria.

Stiller, H. (1999). “Material Intensity of Advance Composite Materials”. *Wuppertal papers*, 90.

Strassert, G. (2002). “Physical input-output accounting”. En Ayres, R., Ayres, L. (eds.), *A Handbook of Industrial Ecology* (pp.102-113). Londres: Edward Elgar Publishing, Inc.

Toledo, V., García, P. (eds). (2008). “Metabolismos Rurales”. *Revista Iberoamericana de Economía Ecológica*, 7.

Van Oel, P., Mekonnen, M., Hoekstra, A. (2008). “The external water footprint of the Netherlands: quantification and impact assessment”. *Value of water research report series*. 33. UNESCO: IHE, Institute for water education, Delf, the Netherlands.

- Velázquez, E. (2007). "Water Trade in Andalusia: an alternative way to management water demand". *Ecological Economics*, 63 (1): 201-208.
- Velázquez, E., Madrid, C., Beltrán, M. J. (2010). "Rethinking the concepts of virtual water and water footprint in relation to the production-consumption binomial and the water-energy nexus". *Water Resources Management*, 25 (2): 743-761.
- Verma, S., Kampman, D., van der Zaag, P., Hoekstra, A. Y. (2009). "Going against the flow: A critical analysis of inter-state virtual water trade in the context of India's National River Linking Program". *Physics and Chemistry of the Earth*, 34: 261-269.
- Weizsäcker, E., Lovins, A., Lovins, H. (1995). *Factor Four. Doubling Wealth Halving Resource Use*. Londres: Edward Elgar Publishing, Inc.
- Weisz, H. (2007). "Combining Social Metabolism and Input - Output Analyses to Account for Ecologically Unequal Trade". En Hornborg, A., Mcneill, J.R., Martinez-Alier, J., (eds.), *Rethinking environmental history: World-System History and Global Environmental Change* (pp: 289-306). Lanham: Altamira Press.
- Wichelns, D. (2001). "The role of virtual water in efforts to achieve food security and other national goals, with an example from Egypt". *Agricultural Water Management*, 49: 131-151.
- Wolman, A. (1965). "The metabolism of cities". *Scientific American*, 213(3): 178-193.
- Yang, H., Zehnder, A. (2002). "Water Scarcity and Food Import: A Case Study for Southern Mediterranean Countries". *World Development*, 30: 1413-1430.
- Yang, H., Reichert, P., Abbaspour K. C., Zehnder J. B. (2003). "A water resources treshold and its implications for food security". Virtual Water Trade. Proceedings of the International Expert Meeting on Virtual Water Trade. *Values of Water Research Report Series n° 12*. IHE, Delft, Holanda.
- Yegnes-Botzer, P. (2001). *Virtual water export from Israel: quantities, driving forces and consequences*. Tesina Doctoral no publicada. M.Sc. Thesis, DEW 166, IHE, Delft, The Netherlands.

Zhao, X., Chen, B., Yang, Z. (2009). “National water footprint in an input-output framework. A case study of China 2002”. *Ecological Modelling*, 220: 245-253.

Zimmer, D., Renault, D. (2003). “Virtual water in food production and global trade review of methodological issues and preliminary results”. Virtual Water Trade. Proceedings of the International Expert Meeting on Virtual Water Trade. *Values of Water Research Report Series n° 12*. IHE, Delft, Holanda.

EcoEcoEs Documentos de Trabajo

Número 01_2010

Matías Piaggio and Emilio Padilla, 2010. CO₂ emissions and economic activity: heterogeneity across countries and non stationary series. <http://www.ecoeco.es/wp-content/plugins/download-monitor/download.php?id=65>

Número 02_2011

María Jesús Beltrán y Esther Velázquez, 2011. Del metabolismo social al metabolismo hídrico.