

# ECOLOGÍA INDUSTRIAL Y METABOLISMO SOCIOECONÓMICO: CONCEPTO Y EVOLUCIÓN HISTÓRICA.

.....  
J. MARTÍNEZ-ALIER

*Universitat Autònoma de Barcelona*

**LA CONSOLIDACIÓN INTERNACIONAL DE LA ECOLOGÍA INDUSTRIAL COMO CAMPO DE ESTUDIO HA OCURRIDO EN LOS ÚLTIMOS QUINCE AÑOS. SUS ANTECEDENTES VIENEN DE MUCHOS AÑOS ATRÁS, CUANDO ALGUNOS AUTORES EMPEZARON A**

15

usar la idea del «metabolismo» entre la naturaleza y la sociedad, y poco después se presentaron los primeros ensayos de cálculo del flujo de energía en la economía. Lamentablemente, la Ecología Industrial no es aún un área del conocimiento en el sentido con que la expresión es usada por la burocracia que administra la ciencia española, como tampoco lo son la Ecología Humana, la Ecología Urbana, la Agroecología, la Etnoecología o la Economía Ecológica. Hoy existe el *Journal of Industrial Ecology* y se celebran congresos internacionales, el próximo en Oxford, en agosto del 2004.

La Ecología Industrial pronto se extenderá a toda España. En la Universidad Autónoma de Barcelona hace cinco años que existe una asignatura de Ecología Industrial, donde los profesores explican el análisis del ciclo de vida de productos y hacen análisis de flujos de energía y materiales a nivel de empresa, de industria y de toda la economía. Pero no es aún una asignatura de la licenciatura de Ciencias Ambientales, ni desde luego de Ciencias Económicas o Empresariales. En las universidades españolas no hay cátedras de Ecología Industrial ni tampoco de Economía Ecológica o de Ecología Humana donde pudiera albergarse.

Ahora bien, entre los propios industriales y las administraciones públicas crece el interés por la Ecología Industrial, con una perspectiva *win-win*, es decir, suponiendo que resulta a la vez económica y ambientalmente posible y conveniente convertir los residuos de un proceso en insumos de otro proceso, a través de bolsas de residuos o en «parques industriales» como Kalundborg o mediante otras innovaciones institucionales.

Para las empresas, la Ecología Industrial es, además, un campo interesante en el desarrollo de una nueva contabilidad ambiental. No se exige aún de las empresas que calculen, y menos aún que compensen, sus pasivos ambientales. Sin embargo, por la vía de las protestas ambientalistas, por la vía de las políticas públicas (por ejemplo, las directivas europeas) y por la vía judicial (como el famoso juicio bajo la Alien Tort Claims Act desde el Ecuador contra la Chevron-Texaco), el tema de la responsabilidad ambiental de las empresas, tanto nacional como internacional (la *corporate accountability*), va avanzando.

Entre los estudiosos de la Ecología Industrial a nivel macroeconómico no hay tanto optimismo respecto a la facilidad de obtener soluciones *win-win*. Observamos que no hay una tendencia a la desmaterialización de la economía en términos absolutos, y si en algunas economías el PIB crece más que los insumos de materiales (y de energía) eso tal vez es debido al desplazamiento geográfico de las fuentes. Vemos que la Unión Europea importa unas cuatro veces más que exporta (medido en toneladas), mientras la América Latina exporta seis veces más toneladas que importa (Giljum y Eisenmenger, en prensa). Desde la América latina, eso da lugar a un nuevo debate sobre el intercambio ecológicamente desigual (Muradian *et al.*, 2001, 2002) y se reclama que los gobiernos escuchan ese clamor, propio de un «Prebisch ecológico». Vemos que las economías rápidamente crecientes de la China y de la India no desarrollan tecnologías propias que ahorren energía y materiales sino que copian las pautas «fordistas». Así, por mucho que se hable, con razón, de Bangalore y de Hyderabad como Silicon Valleys asiáticos y capitales del *outsourcing* informático, y por mucho que se espere que las innovaciones informáticas lleven a una menor intensidad energética y material, de hecho la economía de la India usa cantidades crecientes de combustibles fósiles (carbón, petróleo, gas) y está impulsada por la industria del automóvil, que crece al 20% anual.

En el mundo, no hay ninguna tendencia general a un cambio de sistema energéti-



co. Se usa más biomasa que hace cien años (al haber aumentado cuatro veces la población), se usa seis veces más carbón, mucha más hidroelectricidad y muchísimo más petróleo (McNeill, 2000). Crece, sobre todo, el gas natural, que al igual que las nuevas energías (nuclear, viento, fotovoltaica), se añade a las fuentes anteriores, no las sustituye. La única fuente que tal vez bajará en los próximos años es la nuclear, al retirarse más centrales que las que se construyen, aunque eso puede cambiar, dependiendo de las políticas de la India y China.

Observamos, además, que los aumentos de la eficiencia en la conversión de insumos de materiales y energía en objetos de consumo o en servicios no se traducen necesariamente en una disminución de esos insumos, por obra del «efecto Jevons» y también muchas veces al tener esos objetos o servicios una demanda de alta elasticidad-ingreso. Pero es cierto que, al crecer los ingresos, en ocasiones puede ser que se introduzcan tecnologías que aumenten la eficiencia energética y material. Por ejemplo, a la India rural empieza a llegar el gas licuado de petróleo (el butano), como en la España de los años 1960. Se quema en cocinas de gas y sustituye como combustible doméstico a la leña (escasa en algunas regiones) o al estiércol seco, usados en cocinas tradicionales. Hay un ahorro

energético y otros beneficios ambientales. Desde luego, en vez del butano se podría usar más el gas proveniente de los animales y la energía solar, pero éste no es el tema. Comprobamos que en casos muy especiales, como es la cocina doméstica, sumarse a la economía del petróleo puede ser ambientalmente una buena idea. En general, sin embargo, al aumentar los ingresos aumenta el gasto de energía y materiales y aumenta el flujo de residuos.

Por lo menos, éste es el punto de partida del estudio del «metabolismo socio-económico», y lo que interesa entonces son los detalles, las distintas tendencias históricas dentro de una misma pauta industrializadora, las comparaciones de los efectos de las políticas, las distintas consecuencias que tienen los diversos movimientos ecologistas, los determinantes de los cambios tecnológicos e institucionales y las dificultades de escapar del *lock-in* tecnológico o institucional.

Varios de los autores de los artículos de este número de *Economía Industrial* son pioneros en el estudio de la economía en términos de flujos de materiales y energía, no sólo en España sino internacionalmente. El apoyo oficial a esos trabajos ha sido escasísimo. Se constituyó en el Estado español en 1986 una comisión de alto nivel para la elaboración de un Sistema de Cuentas del Patrimonio Natural, con la presencia de José Manuel Naredo en el secretariado, que hubiera desembocado en la elaboración de una metodología contable de la que fácilmente se podría extraer como corolario una batería de indicadores e índices físicos de la (in)sustentabilidad ecológica de la economía como los que se presentan aquí.

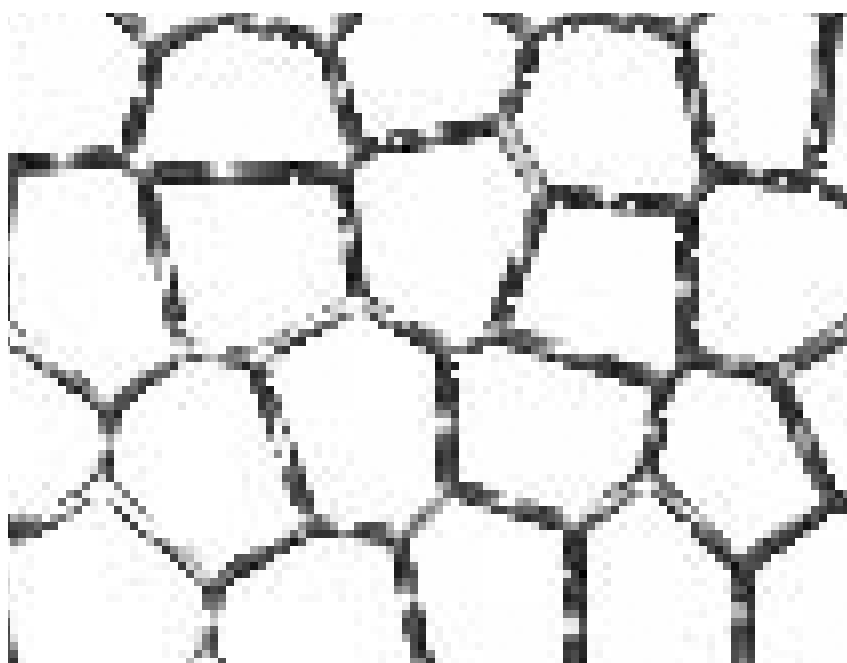
La posterior falta de apoyo político y de medios a los trabajos de aquella comisión interministerial provocaron su desaparición poco tiempo más tarde. Pero los ecos me llegaron a Barcelona. Pocos años después propusimos más o menos lo mismo al Departamento de Medio Ambiente del gobierno de Cataluña en una convocatoria pública de proyectos de investigación, pero la oposición interna de algunos economistas u otras razones que ignoro, lo hicieron inviable.

Sin embargo, se ha estado trabajando intensamente durante veinte años. Gracias a este esfuerzo no hemos pasado por la vergüenza que sólo desde Eurostat se haya publicado el flujo de materiales de la economía española, pero por poco ocurre eso. La tesis doctoral de Óscar Carpintero fue presentada más o menos a la vez que los datos de Eurostat para los países de la Unión Europea. Eurostat trabajó con consultores y metodologías desarrolladas en dos grupos de investigación: el Wuppertal Institute en Alemania y el grupo de Ecología Social del Instituto de Investigación Interdisciplinaria en Austria (Weisz, 2002), y éstos son los dos grupos que en la Unión Europea están a la vanguardia de la aplicación de la Ecología Industrial a nivel macroeconómico.

También en Europa (en el INSEAD, cerca de París) ha trabajado desde hace años el fundador de la Ecología Industrial y pionero de la Economía Ecológica, Robert Ayres, quien en 1989 empezó a usar la expresión «metabolismo industrial» y que en 1969 fué coautor de un famoso artículo sobre externalidades (Ayres y Kneese, 1969). Robert Ayres ha dirigido la redacción del *Handbook of Industrial Ecology*, publicado por la editorial Edward Elgar, la obra de referencia en este campo.

Otro gran divulgador de la Ecología Industrial en Europa es Suren Erkman, y un tercer nombre ineludible es la directora del grupo de Ecología Social de Austria, Marina Fischer-Kowalski. Pero también podemos añadir aquí, como precursores de la Ecología Industrial, a los fundadores de la Economía Ecológica ya fallecidos, Kenneth Boulding, Nicholas Georgescu-Roegen, que insistieron que la economía debía verse como un sistema abierto a la entrada de materiales y energía y a la salida de residuos.

En su tesis doctoral, bajo la dirección de José Manuel Naredo, el economista Óscar Carpintero (2002 y 2004 en prensa) recopiló las estadísticas del flujo de materiales en España desde los años 1950 (con resultados, pues, no para veinte años, como Eurostat, sino para cuarenta, que incluyen el gran cambio de la economía española de los años 1960, muy relevante para interpretar lo que ocurre hoy en otras economías «en desarrollo»). Carpintero muestra cómo la biomasa perdió im-



portancia en términos relativos (aunque no absolutos) y cómo los materiales abióticos crecieron muchísimo. La parte de ellos que es importada también creció considerablemente. Hoy en día África es, materialmente, el socio comercial más importante de España (con respecto a nuestras importaciones) aunque crematísticamente lo sea Europa.

Carpintero presenta la historia de cuarenta años del Flujo Directo de materiales en la economía española (es decir, extracciones locales más importaciones, que se convierten en *stocks*, en residuos y en exportaciones), y también incluye estimaciones de los Flujos Ocultos de la importaciones (las «mochilas ecológicas», les llaman algunos), en sus lugares de origen (datos poco fiables hasta que todos los países avancen en sus contabilidades materiales). Carpintero muestra que la ecoeficiencia no es una virtud española, tal vez no lo sea de ninguna economía en nuestro estadio de crecimiento si se encierra en la pauta tecnológica y de consumos en que se ha encerrado la economía española. Pero mucho depende de la exigencia y grado de cumplimiento de la legislación ambiental y de los políticas fiscales. Las tendencias que Carpintero muestra pueden contrastarse con otros estudios a nivel regional (de Euskadi, de la Comunidad de Madrid...) que se presentan también aquí.

Uno puede preguntarse, a la vez que felicita a los autores, cómo es posible que haya habido que esperar hasta el año 2004 para tener esa visión cuantificada coherente de los aspectos materiales del crecimiento económico español. ¿Qué anteojos especializados han impedido que tantos y tan notables historiadores económicos españoles vieran esas realidades físicas? Los cálculos de los flujos de energía y materiales y la contabilización de los residuos que produce la economía, como tampoco los cálculos del uso del agua y de sus calidades, ni la cuantificación de la HANPP (apropiación humana de la producción primaria neta de biomasa), no son campos de estudio que puedan arrinconarse en una especialización de «historia ambiental».

La ciencia económica estudia la economía, es decir, los precios y cantidades intercambiados en mercados (un estudio que Aristóteles llamaba «crematística» en *La Política*), y las magnitudes agregadas de la contabilidad macroeconómica. Esa economía no puede entenderse como un sistema autosuficiente. La economía está necesariamente abierta a la entrada de energía y materiales y a la salida de residuos y de calor disipado. La economía debe verse desde el punto de vista del metabolismo socio-económico.

Los antecedentes de esta visión se remontan a ciento cincuenta años atrás, que es

cuando la palabra «metabolismo» (o antes, en alemán, *Stoffwechsel*) salió de su empleo en la biología de las células y organismos para ser empleada también para describir las relaciones entre la naturaleza y las sociedades humanas. El tema podría llevar a un despliegue de erudición de historia de la ciencia y de la cultura de la Europa de 1850 a 1900 impropio de este artículo introductorio. Señalemos solamente algunos hitos, para mostrar que pudo haberse avanzado hace tiempo en la Ecología Industrial a pesar de la persistente y resistente ceguera ecológica de economistas e historiadores económicos.



## LA HISTORIA DEL METABOLISMO SOCIO-ECONÓMICO

Los autores que escriben sobre el metabolismo industrial (Ayres, 1989) o sobre el metabolismo social (Fischer-Kowalski, 1998; Haberl, 2001) ven la economía en términos de flujos de energía y materiales. Junto con los economistas ecológicos, consideran la economía un subsistema de un sistema físico mayor. Dado que Marx usó el término *Stoffwechsel*, es decir, metabolismo, para hablar de las relaciones entre la naturaleza y la sociedad, cabe preguntarse si la perspectiva ecológica se encontraba ya en el marxismo.

Más adelante consideraré también, brevemente, el desencuentro histórico entre la economía neoclásica y la perspectiva ecológica (al explicar las ideas de Patrick Geddes en 1884, en explícita oposición a Walras, y al recordar la conocida crítica de Max Weber a Wilhelm Ostwald, que tanto agradaba a Hayek). Acabaré con algunas reflexiones sobre la teoría del intercambio ecológicamente desigual, a la que han contribuido algunos autores de este número, señaladamente Naredo y Valero.

Volviendo a Marx, ¿hizo la economía marxista cálculos del uso de energía en la economía y consideró Marx que esos cálculos fueran relevantes para explicar la dinámica de la economía? Al fin y al cabo, Marx (1818-1883) y Engels (1820-95) eran contemporáneos de los físicos y fisiólogos que establecieron la Primera y la Segunda Leyes de la Termodinámica en



los años 1840 y 1850 (J. R. Mayer, 1814-78; J. P. Joule, 1818-89; R. Clausius, 1822-88; W. Thomson, alias Lord Kelvin; 1824-1907). Marx y Engels seguían con pocos años de retraso los notables descubrimientos científicos e innovaciones tecnológicas de su época. Engels escribió en 1888 que el siglo XIX sería recordado no sólo como el siglo de la teoría de la evolución, sino como el siglo de la transformación de energía, el siglo de Darwin, Mayer, Joule y Clausius (carta a Nikolai Danielson, 15 de octubre de 1888).

Pero Marx y Engels nunca dijeron, en sus críticas al concepto de rendimientos decrecientes en la agricultura, que la productividad del trabajo y de la tierra dependieran del subsidio exterior de energía. El concepto marxista de «fuerzas productivas» (*Produktivkräfte*) no usaba la palabra «Kraft» (fuerza) con el significado de energía. Esas fuerzas productivas podían ser fomentadas o frenadas por las relaciones sociales de producción. El capitalismo había supuesto un gran desarrollo de las fuerzas productivas pero causaba crisis económicas por su propia naturaleza, es decir, por la explotación del trabajo asalariado. Las crisis malsanas de subsistencias no existían. El conflicto entre capital y trabajo llevaría a un cambio del modo de producción. Ésos eran los puntos esenciales de la teoría marxista.

Desde el punto de vista del «metabolismo socio-económico», la cuestión de encontrar mercados para la producción potencial es menos relevante que el avance continuo del capitalismo en las fronteras de la extracción de materias primas y su uso de sumideros de residuos que ya se rebasan, como ocurre con el uso de la atmósfera para depositar dióxido de carbono. La acumulación de capital puede pensarse que está basada en la explotación del trabajo. Uno puede concordar con eso y al mismo tiempo sostener que la acumulación de capital puede describirse en un lenguaje físico no-equivalente (Frank, 1959; Hornborg, 1998). Está comprobado que el capital no puede crecer por sí mismo, por decirlo así, no puede crecer únicamente por la explotación del trabajo y por el cambio tecnológico, porque vemos que la economía usa más materiales y energía y por tanto produce más residuos. El capitalismo no sólo menoscaba sus propias condiciones de producción sino las condiciones de vida y de supervivencia de los pueblos periféricos del mundo, que a menudo protestan.

Esos conflictos de distribución ecológica son cada vez más visibles (O'Connor, 1988). Sus actores son socialmente variados, como lo son los lenguajes que emplean. No son conflictos entre el capital y el trabajo. Tampoco son, como se diría en lenguaje neoclásico, casos de «externalidades» nacidas de «fallos del mercado», sino que son, como dijo Kapp, éxitos en la transferencia de costos de unos grupos sociales a otros. Y dado que ocurren cada vez con mayor intensidad, no pueden describirse en el lenguaje marxista de «acumulación primitiva u originaria de capital» (como el saqueo inicial de América o la confiscación de bienes comunales en la Inglaterra proto-capitalista).

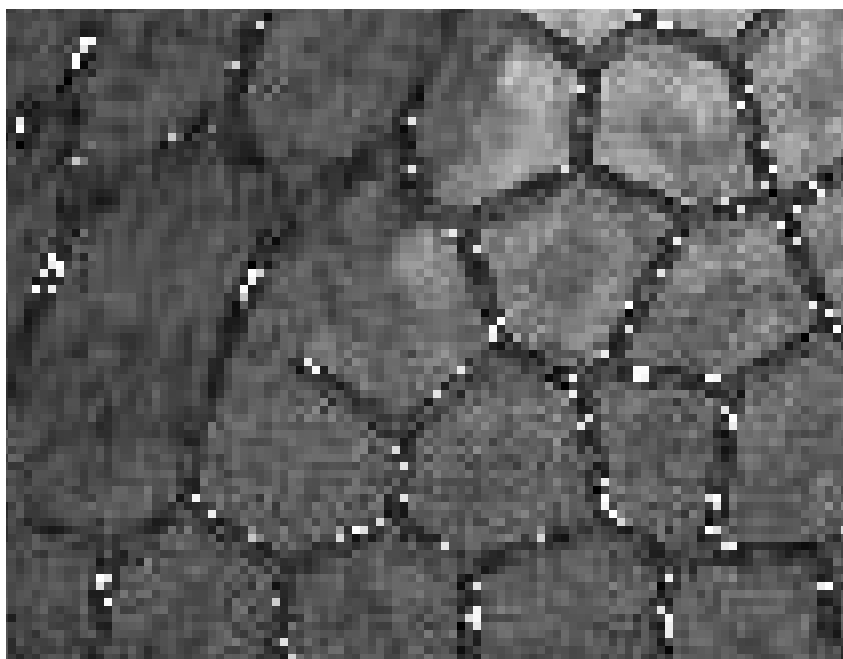
Sin embargo, Marx y Engels tenían un interés profundo por las relaciones entre la economía humana y el medio natural, en especial en lo que respecta a la agricultura. Schmidt (1978) hizo notar que el uso de *Stoffwechsel* por Marx en distintos pasajes de *El Capital* y otros escritos estaba influenciado por Moleschott y Liebig. Y que no era una metáfora, sino que se refería al análisis de los ciclos de nutrientes en las plantas agrícolas (Schmidt, 1978 86-9; Martínez-Alier y

Schlüpmann, 1987: 220-6). Marx estaba tan metido, por así decirlo, en el concepto de metabolismo que en una simpática carta a su esposa del 21 de junio de 1856 le decía que lo que le hacía sentir vivo como hombre era su amor por ella, y no su amor por el metabolismo de Moleschott o por el proletariado.

Moleschott publicó en 1851 un libro sobre la fisiología del metabolismo en las plantas y en los animales y un año después publicó *Der Kreislauf des Lebens (El círculo o el circuito de la vida)*. Engels, en una carta a Piotr Lavrov, de 1875, donde hablaba de Darwin, resumió la idea del «círculo de la vida» en «el hecho que el reino vegetal proporciona oxígeno y nutrientes al reino animal y, recíprocamente, el reino animal proporciona a las plantas dióxido de carbono y estiércol». Este intercambio, que Liebig ya había explicado, había sido interpretado como cooperación natural por ese trío de «materialistas vulgares» (Vogt, Büchner y Moleschott) quienes, sin embargo, ahora se llenaban la boca hablando de la «lucha por la existencia».

Ha habido recientemente un «redescubrimiento» del metabolismo socio-económico de Marx (Foster, 2000), lo que explica que volvamos aquí sobre el tema. Marx y Engels eran contemporáneos de Moleschott, pero eran una generación más jóvenes que los fundadores de la química agrícola (Liebig, 1803-73, Boussingault, 1802-87), quienes habían publicado sus investigaciones sobre el ciclo del carbono y los nutrientes de las plantas (fósforo, potasio, nitrógeno) en el contexto de la discusión sobre los rendimientos decrecientes en la agricultura y del inicio de la gran importación de guano del Perú a partir de 1940.

Immanuel Wallerstein, el sociólogo que introdujo en los años 1960 con André Gunder Frank la perspectiva que hoy se llama *World Systems Theory*, es decir, la teoría histórica del sistema mundial, trazó la distinción entre dos tipos de mercancías, que llamó *preciosities* y *bulk commodities*. Ejemplos de las primeras, la pimienta y otros condimentos que trajo Vasco de Gama de la costa de Malabar, el oro, las esmeraldas y la plata de América, los diamantes de África, productos de



mucho valor económico y poco volumen, que podían ser transportados en medios de poca capacidad.

En cambio, las mercancías a granel, en grandes cantidades, requerían medios de transporte mayores. Directamente, las «preciosidades» no alteran apenas el metabolismo socio-económico de las sociedades receptoras (es decir, los flujos de energía y materiales), aunque sí pueden alterar muchísimo el de las sociedades productoras: recordemos el impacto humano y ambiental de la minas de Potosí, ya en el siglo XVI. El comercio de mercancías a granel en gran cantidad, de las cuales el guano del Perú fue un primer ejemplo, alteran también el metabolismo de las sociedades receptoras. Un obvio ejemplo actual es la importación de petróleo y gas en Europa y en Estados Unidos. Nuestra economías dependen materialmente de esas importaciones.

La exportación de guano del Perú fue, en total, de unos 11 millones de toneladas entre 1840 y 1880 (Gootenberg, 1993); el guano fue muy necesario para combatir los rendimientos decrecientes en los países importadores. Los análisis de su composición química, junto con los análisis de otros fertilizantes usados por los agricultores desde siempre (estiércol, huesos), pusieron los cimientos de la química agraria. Liebig (quien creía en el desarro-

llo de una industria química de fertilizantes) es considerado como uno de los fundadores de la ciencia de la Ecología, antes de que el propio nombre de esa ciencia existiera (Kormondy, 1965). Políticamente desarrolló un argumento en favor de la agricultura en pequeña escala y la población rural dispersa, contra la agricultura latifundista y contra las exportaciones agrícolas, porque hacía falta que los nutrientes tornaran al suelo. Marx citó favorablemente esta opinión de Liebig en distintos lugares. Hoy en día las ideas de Liebig sirven, por ejemplo, para calcular los pasivos ambientales de la agricultura de exportación de la Pampa argentina (Pengue, 2002).

El uso del metabolismo en Marx vino de los trabajos de Liebig y de Moleschott. Foster (2000) ha analizado con profundidad la deuda de Marx con Liebig, y equivocadamente ha negado la influencia de Moleschott. Foster ni tan siquiera cita los tempranos libros de Moleschott de 1851 y 1852 sobre la fisiología del metabolismo de las plantas y animales y sobre el «círculo de la vida». Así, en resumen, Marx mostró interés por los ciclos de materiales en la economía, y su empleo de la palabra «metabolismo» podría haber inspirado a autores posteriores.

Marx, por el contrario, no mostró interés por el flujo de energía. De esa manera,

no vio la diferencia fundamental que Lotka (en los años 1910) iba a señalar entre el uso endosomático de energía en la nutrición humana y el uso exosomático de energía mediante herramientas o instrumentos (productivos o recreativos). Esa diferencia entre el bio-metabolismo y el tecno-metabolismo es básica para entender la ecología de los humanos. Tenemos, como especie, instrucciones genéticas respecto del consumo endosomático de energía en nuestra nutrición pero no con respecto a nuestro uso exosomático de energía (y materiales), que debe ser explicado por la historia, la política, la economía, la cultura, la tecnología. Eso no está desarrollado en Marx ni en los marxistas, aunque en los escritos de éste, y particularmente de Engels, abundan los comentarios sobre la teoría de la energía (la termodinámica) y sus aplicaciones tecnológicas.

## LA ENERGÉTICA AGRÍCOLA DE PODOLINSKY

La relación entre el metabolismo de materiales (*Stoffwechsel*) y el flujo de energía al nivel de la célula y de los organismos fue conocida en los años 1840. También se entendió entonces que la agricultura podía ser representada en términos de un flujo e intercambio de energía y no solamente como una intervención en el ciclo de nutrientes de las plantas (Mayer, 1845, usó *Stoffwechsel* para el flujo de energía). La palabra metabolismo se usó, pues, para materiales y energía, pero mientras los materiales podían ser reciclados, la energía no podía serlo. La teoría de la dirección del flujo de energía se desarrolló a partir de 1850, con la Segunda Ley de la Termodinámica.

Un autor ucraniano, S. A. Podolinsky, que había estudiado medicina y que políticamente estaba influenciado por Marx y por los populistas rusos, publicó en 1880 lo que parece haber sido el primer trabajo sobre el flujo de energía en la agricultura. Las versiones rusa y alemana son más largas, la francesa e italiana más cortas, pero contienen las ideas centrales (1). Podolinsky empezó su artículo explicando las leyes de la termodinámica. La energía del

CUADRO 1  
PRODUCCIÓN ANUAL E INPUT DE ENERGÍA POR HECTÁREA.  
PROMEDIOS DE FRANCIA EN 1870  
SOLAMENTE TRABAJO DE HUMANOS Y ANIMALES DOMÉSTICOS

	Producción (kg)	Producción (kcal)	Input de energía (kcal)
Bosque	900 (madera seca)	2.295.000	Nada
Pastos naturales	2.500 (heno)	6.375.000	Nada
Pastos sembrados	3.100 (heno, sin contar la semilla)	7.905.000	37.450 (50 horas de caballo y 80 horas de hombre)
Trigo	800 (trigo) y 2.000 (paja) (sin contar la semilla)	8.100.000	77.500 (100 horas de caballo y 200 horas de hombre)

FUENTE: Podolinsky (1883), Los valores de la madera, heno y paja, 2.550 kcal/kg, del trigo 3.750 kcal/kg. Las horas de trabajo están convertidas en energía: 645 kcal/hora de trabajo de caballo, 65 kcal/hora de trabajo de hombre.

Universo era constante (había dicho Clausius), había una tendencia a la disipación de energía o, en la terminología de Clausius, había una tendencia a la maximización de la entropía. Podolinsky no discutió aún la diferencia en termodinámica entre sistemas abiertos, cerrados y aislados, pero sí destacó que la Tierra recibía enormes cantidades de energía del Sol. Explicó que las plantas asimilaban energía solar por la fotosíntesis y que los animales se alimentaban de las plantas, disipando energía.

Todo eso formaba el «círculo de la vida». La disipación de energía era evitada o retrasada por las plantas, pero también conseguía ese efecto el trabajo humano empleado en la agricultura. Incluso el trabajo de sastres, albañiles o zapateros podía calificarse de trabajo productivo en este sentido, pues contribuían a protegerse contra la disipación de energía.

Podolinsky presentó a continuación un inventario de las fuentes de energía que son distintas transformaciones de la energía solar, y además las mareas. Inició entonces su análisis de la energética de la agricultura, presentando la productividad en kilogramos y en kilocalorías de distintos tipos de uso del suelo en Francia, donde él vivía entonces. El cuadro 1 resume sus datos (Martínez-Alier y Schlüpmann, 1987: 48). Podolinsky concluyó que la productividad aumentaba cuando había una contribución de trabajo humano o de animales. Hay que notar que este autor contó la energía del trabajo efectuado por humanos y animales, no la energía de su

alimentación. En sus cálculos no incluyó la radiación solar en el insumo de energía porque escribía como proto-economista ecológico y no como biólogo. La radiación solar es realmente gratuita.

Su conclusión fue que el trabajo aumentaba la acumulación de energía en la Tierra. Aunque mencionó la importación de guano y aunque debe haber estado al corriente de la guerra por los nitratos de Perú y de Chile en esos años, no dedujo de las cosechas o no incluyó en el *input* de energía el valor de los fertilizantes, ni tampoco la energía gastada por las máquinas de trillar u otras. Pero, básicamente, su metodología es la que en la actualidad se usa para establecer los balances energéticos de la agricultura, y, en general, de la economía en su conjunto (Cottrell, 1955; Rappaport, 1967; H.T. Odum, 1971; Pimentel, 1973, 1979; Leach, 1976; Fluck and Baird, 1980; Naredo y Campos, 1980).

Podolinsky explicó después de donde venía la capacidad del organismo humano para trabajar. Citando los estudios de Hirn, Helmholtz, Marey, también los de sus propios profesores Hermann y Haindenhain, y también de Fick, concluyó correctamente que «el ser humano tiene la capacidad de transformar una quinta parte de la energía obtenida en la alimentación en trabajo muscular», añadiendo que ese coeficiente era mayor que el de una máquina de vapor de la época.

Así pues, para que la humanidad asegurara sus condiciones mínimas de existencia, hacía falta que cada caloría de trabajo huma-



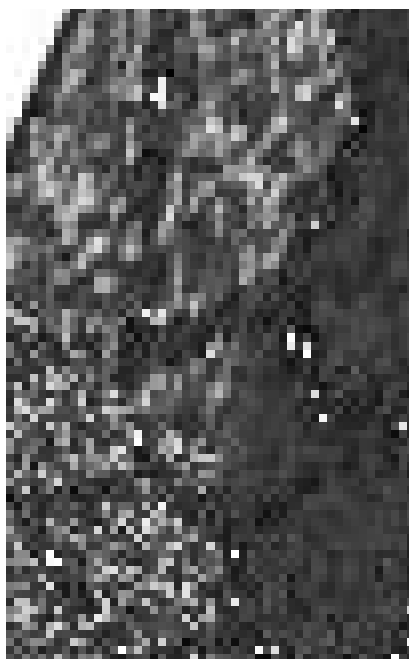
no también por la Naturaleza, citando la frase de William Petty: «el Trabajo es el Padre, la Naturaleza es la Madre». Más allá de chistes fáciles sobre si la madre o el padre importan más, lo que interesa es que establece una distinción entre los valores de uso y la riqueza, por un lado, y los valores de cambio, por otro. Marx citó lo que Aristóteles había escrito sobre la diferencia entre *oikonomia* y crematística, una diferencia grata a los economistas ecológicos desde Soddy a Daly, y a los antropólogos económicos «sustantivistas» de la escuela de Karl Polanyi.

Una importante contribución al enfoque biofísico o metabólico de la economía fue la de Otto Neurath (1882-1945), famoso filósofo analítico del Círculo de Viena, economista o historiador económico, y marxista en dos sentidos al menos. En primer lugar, en el debate sobre el Cálculo en una Economía Socialista de los años 1920, defendió una economía democráticamente planificada basada en la contabilidad física de energía y materiales (*Naturalrechnung*), siguiendo las ideas expuestas en las «utopías» realistas cuantificadas de Popper-Lynkeus y Ballocl-Atlanticus.

Así, Neurath explicó que para comparar dos planes económicos que obtuvieran el mismo resultado, un empresario capitalista usaría valores en dinero. Empero, en una economía socializada, ¿cómo podríamos comparar un plan que usara más trabajo humano y menos carbón con un plan que usara menos trabajo humano y más carbón? En principio, emplear menos penoso trabajo humano y más carbón era una buena idea, pero la decisión requería saber o adivinar los desarrollos de las tecnologías futuras (energía hidroeléctrica, energía solar).

También nuestro aprecio moral por las generaciones futuras tendría un papel en la decisión. Neurath introdujo la idea de que en la economía hay valores incommensurables, lo que iba a ser destacado asimismo por K. W. Kapp, convirtiéndose en un fundamento de la economía ecológica (Martínez-Alier y Schlüpmann, 1987; O'Neill, 1993; Martínez-Alier, Munda y O'Neill, 1998; O'Neill, 2002).

En segundo lugar, en el contexto de los proyectos del Círculo de Viena, que publicó una *Enciclopedia de Ciencia Unificada*



en los años 1930 y 1940, Neurath se calificó a sí mismo de marxista y defendió una visión dialéctica de la historia (aunque no le gustaba la palabra «dialéctica») que pusiera juntos los hallazgos de las diversas ciencias con respecto a procesos o eventos concretos. Los hallazgos de una ciencia con respecto a un proceso o evento particular no debían entrar en contradicción con los supuestos o hallazgos de otra ciencia que estuviera también presente en la *Enciclopedia*. Tales contradicciones debían ser resueltas. La «consiliencia» (podríamos decir hoy, usando la expresión de Edward Wilson) debía ser la regla de la Enciclopedia.

Frente a esas posiciones surgió la crítica de Hayek contra lo que él llamó la «ingeniería social» (1952). Esa crítica hayekiana se dirige, como indica John O'Neill, contra «toda la tradición que trata de entender de qué manera las instituciones y relaciones económicas están metidas o incrustadas en el mundo físico y tienen precondiciones físicas reales, y que por consiguiente pone en duda las elecciones económicas que se fundan puramente en la valoración monetaria». Es la tradición del «metabolismo socio-económico». Patrick Geddes, Wilhelm Ostwald, Frederick Soddy y Lewis Mumford fueron rudamente atacados por Hayek, pero su *bête noire* fue Neurath.

Aquí hay que recordar también los comentarios de Max Weber, contrarios a

Otto Neurath, en *Economía y Sociedad*, pero todavía más, su crítica contra Wilhelm Ostwald en 1909, que Hayek elogió mucho, años después. Ostwald (un químico bien conocido) trató de interpretar la historia humana en términos del uso de energía. Propuso dos simples leyes, que no son falsas, y que pueden actuar en la misma dirección o en direcciones opuestas.

En primer lugar, el crecimiento de la economía implicaba el uso de más energía y la sustitución de energía humana por otras formas de energía. En segundo lugar, había una tendencia hacia una mayor eficiencia en la transformación de energía. Max Weber (1909), en su famosa irónica crítica, insistió en la separación entre las ciencias. Los químicos no deberían escribir sobre historia económica. El punto central de Max Weber (Martínez-Alier y Schlüpmann, 1987, cap. 12) era que las decisiones de los empresarios industriales sobre nuevos productos y tecnologías se basaban en los costos y en los precios. Podía ocurrir que un proceso de producción fuera menos eficiente en términos energéticos y sin embargo sería adoptado si resultaba más barato. La contabilidad energética era irrelevante, pues, para explicar la economía. Max Weber no discutió si los precios de la energía estaban bien puestos.

Ostwald influyó sobre muchos autores, entre ellos Henry Adams (1838-1918), quien propuso una «ley de aceleración» del uso de energía: «la producción de carbón en el mundo se dobló cada diez años entre 1840 y 1910, en términos de la energía utilizada, pues cada tonelada de carbón rendía tres o cuatro veces más energía en 1900 que en 1840 (por el aumento de la eficiencia de las máquinas de vapor)». Cuando el antropólogo Leslie White (1943) escribió sobre la energía y la evolución de la cultura, se dio cuenta de que Ostwald era un precursor de su propia teoría. En la antropología ecológica destaca también la aportación de Roy Rappaport con su estudio de la economía de los Tsembaga-Maring in Papua-Nueva Guinea, en términos del rendimiento energético de la agricultura itinerante (Rappaport, 1967).

La ecología urbana, más allá de las críticas al crecimiento de las conurbaciones



de Patrick Geddes y de Lewis Mumford, y de la recomendación que ellos introdujeron de estudiar el metabolismo de las ciudades, entró finalmente en una fase empírica con Wolman (1965), y sobre todo con Boyden y sus colaboradores con sus trabajos sobre la ecología de Hongkong (Boyden *et al.*, 1981). En la Península Ibérica, Jaume Terradas, en Barcelona, y José Manuel Naredo, en Madrid, han hecho avanzar esos estudios de ecología urbana. Resulta curioso que en las escuelas de ingenieros agrónomos, si bien la química agraria de Liebig ha sido desde hace muchas décadas un elemento fundamental, sin embargo el estudio de la energética agrícola ha llegado (si lo ha hecho) con muchos años de retraso (no ya respecto a Podolinsky, 1880, sino a los trabajos de Pimentel, 1973, y otros de esta misma década).

De manera similar, en las escuelas de arquitectura y urbanismo, el estudio del metabolismo material y energético de las ciudades modernas está llegando con muchísimo retraso, no sólo con respecto a las propuestas de Geddes y Mumford, sino incluso con respecto a Wolman y Boyden. Han sido los ecólogos y los economistas ecológicos, y no los agrónomos y arquitectos, los que están finalmente convenciendo a esas escuelas profesionales para que amplíen los contenidos de sus enseñanzas.

Los estudiosos del metabolismo socioeconómico anteriores a la década de 1980, de los cuales aquí hemos mencionado algunos, no formaron una escuela, no se citaban mutuamente (Cleveland, 1987; Martínez-Alier y Schlüpmann, 1987; Fischer-Kowalski, 1998, 1999; Haberl, 2001), pero ya en los últimos veinte años esos estudios han sido emprendidos por grupos de investigación coherentes. Hay historias del uso de energía por la sociedad humana que pueden usarse como libros de texto (Cipolla, 1962; Sieferle, 1982; Debeir, Deléage, Hémerly, 1986; Hall, Cleveland, Kaufman, 1986; McNeill, 2000).

La idea del EROI (*energy return on energy input*, es decir, el rendimiento energético de un *input* de energía, que Podolinsky ya había estudiado) fue aplicada en los años 1970 al estudio de toda



la economía, y del propio sector energético, por Charles Hall y otros ecólogos, discípulos de H. T. Odum. También se ha estudiado la producción potencial de biomasa y su apropiación por la especie humana como un indicador de pérdida de biodiversidad, disponiéndose ahora, debido al esfuerzo de Helmut Haberl y colaboradores, de series históricas para Austria y próximamente para otros países. Hay publicaciones muy recientes que explican el crecimiento económico de Estados Unidos y otras economías en términos del uso de energía (o, mejor dicho, en términos del trabajo físico efectuado a partir de la exergía o energía disponible), que critican la teoría neoclásica del crecimiento económico (Ayres, Ayres y Warr, 2002).

Aunque ha habido críticos culturales de la civilización industrial, como Walter Benjamin y Raymond Williams, anteriores al crecimiento del ecologismo, sin embargo entre los economistas (neoclásicos, keynesianos o marxistas) dominaba y domina aún el optimismo tecnológico. Uno de los historiadores y sociólogos de la ciencia más influyentes del siglo XX fue J. D. Bernal. En la década de 1950 típicamente estaba a favor del uso «civil» de la energía nuclear, al que Lewis Mumford se oponía por el riesgo de accidentes y por el problema de los residuos (Thomas, 1956: 1147).

Mumford, calificado por Ramachandra Guha como «el ambientalista estadounidense olvidado», en comparación con G. P. Marsh, John Muir, Gifford Pinchot, Aldo Leopold, Rachel Carson, era heredero intelectual de John Ruskin, William Morris y Patrick Geddes, no pertenecía (al contrario de Bernal) a la tradición marxista. Fue Lewis Mumford, junto con el geógrafo Carl Sauer y el zoólogo Marston Bates, quien dirigió los trabajos de una conferencia en Princeton, en 1955, cuyas comunicaciones y discusiones fueron publicadas en un gran volumen titulado *El Papel del Hombre en los Cambios en la Faz de la Tierra* (Thomas, 1956). La conferencia se hizo en recuerdo de G. P. Marsh y de su libro de 1864. Ese volumen es la mayor contribución, hasta el momento, al estudio del metabolismo social desde diversos campos, dentro de una perspectiva general que podríamos llamar geografía humana o geografía social.



## PATRICK GEDDES Y LA TEORÍA DEL INTERCAMBIO ECOLÓGICAMENTE DESIGUAL

Patrick Geddes (1854-1932), biólogo de formación, planificador urbano de vocación y profesión, fue mentor de Lewis Mumford. A una edad muy juvenil, Ge-

ddes atacó ya a los economistas neoclásicos como Walras por no tener en cuenta los flujos de energía, de materiales y la producción de residuos en la economía (eso está explicado en Martínez-Alier y Schlüpmann, 1987, cap. 6).

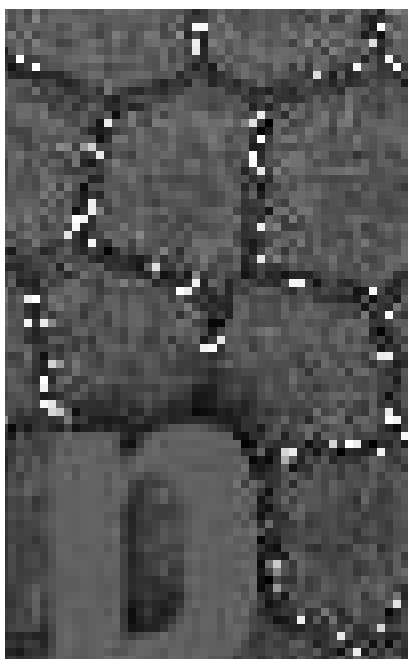
Geddes (1884) propuso la construcción de una especie de tabla input-output según el modelo del *Tableau Economique* del fisiócrata François Quesnay. La primera columna contendría las fuentes de energía y también los materiales que se usaban no por su energía potencial sino por otras propiedades. La energía y los materiales se transformaban en productos en tres etapas: la extracción, la manufactura o fabricación y, por último, el transporte y comercio. Hacía falta estimar las pérdidas (disipación y desintegración) en cada etapa. La cantidad del producto final (o producto «neto» en términos fisiocráticos) podía parecer sorprendentemente pequeña en proporción a la cantidad bruta de producto potencial.

Ahora bien, las pérdidas en cada etapa no eran contabilizadas. El producto final no era en absoluto un valor añadido sino que era el valor residual de la energía y materiales que habían estado disponibles y habían, sido usados al principio, una vez pasadas las tres etapas. En el lenguaje de hoy, diríamos que la exergía en las materias primas es mayor que en los productos finales.

24

El esquema de Geddes resulta relevante para los intentos actuales de diversos autores de desarrollar una teoría del comercio ecológicamente desigual entre los centros metropolitanos y las periferias mundiales. Desde luego, eso enlaza también con los trabajos de la *World System Theory* y, en un plano más práctico, con las actuales manifestaciones «altermundialistas». Las investigaciones de los flujos de materiales muestran que las exportaciones superan, con mucho, a las importaciones en América latina y África. Los flujos de materiales en toneladas son una buena aproximación a la contabilidad de flujos de exergía, y son más fáciles de contar.

Una contabilidad actual no sólo de los flujos directos sino de las «mochilas ecológicas», lleva a investigar la intensidad en



dióxido de carbono y en distintos contaminantes de las exportaciones e importaciones. Eso es lo que se viene realizando (Muradian *et al.*, 2002). Así pues, hay muchos estudios nuevos sobre el comercio internacional en términos de metabolismo social (Hubacek y Giljum, 2001; Giljum, en prensa; Hubacek y Giljum, 2003). En Colombia, resultados todavía en elaboración muestran que las exportaciones anuales alcanzan unos 70 millones de toneladas (sin «mochilas ecológicas») y las importaciones son de unos 10 millones, mientras en términos monetarios el balance está casi equilibrado (M. A. Pérez, 2004). Son resultados típicos para la América Latina. Además, el sector de exportación crece también (físicamente) con relación al metabolismo de la economía interna

La teoría del comercio ecológicamente desigual sostiene que, cuanto mayor sea la exergía original (es decir, la energía disponible o, si se quiere, el potencial productivo en las materias primas exportadas) que ha sido disipada para producir los productos o servicios finales, tanto más altos deberán ser los precios de esos servicios o productos (Hornborg, 1998, Naredo y Valero, 1999). Así, Hornborg dice que «los precios de mercado son los medios de los que se valen los centros del sistema mundial para extraer exergía de las periferias», lo cual es ayudado a ve-

ces, todo hay que decirlo, por el poder militar.

Habría aquí cuestiones a discutir como, por ejemplo, las objeciones que se pueden hacer desde la teoría neoclásica, las interpretaciones optimistas de la exportación de materias primas desde el punto de vista de la *staple theory of growth*, la reelaboración de la teoría estructuralista latinoamericana, incluyendo perspectivas ecológicas en esa antigua doctrina de la CEPAL (Cabeza y Martínez-Alier, 2001). Pero los fundamentos de una teoría del comercio internacional ecológicamente desigual están puestos, y a ello ha contribuido muchísimo el trabajo efectuado por los ecólogos industriales, que han calculado los flujos materiales de exportaciones e importaciones.

Existe hoy en día un renovado interés por la vieja disciplina de la *Warenkunde* de parte de los ecólogos industriales que evalúan los «ciclos de vida» de los productos desde la cuna a la tumba (y desde la tumba a la cuna, al reciclar los residuos). Por ejemplo, para exportar una tonelada de aluminio hace falta un *input* triple en cantidad de bauxita y además mucha electricidad. Se destruye también mucha vegetación y se dejan lodos contaminados como subproducto. Asimismo, para exportar un producto de lujo como una tonelada de cocaína (mucho precio, poco peso: una «preciosidad» en el lenguaje de Wallerstein), se erosiona el suelo en el cultivo en condiciones de precariedad y se contaminan los ríos con keroseno y ácido sulfúrico. Considérese el comercio de cuernos de rinocerontes o colmillos de elefantes, de diamantes, oro o caoba, con grandes «mochilas ecológicas». En cierto modo, son bienes superfluos.

Los antropólogos han puesto en duda con razón que esas «preciosidades» sean menos importantes socialmente que las mercancías a granel, las *bulk commodities* (Schneider, 1977). Esos bienes prestigiosos son cruciales en un sentido social (para el pago de dotes o para la acumulación de poder político en sistemas clientelísticos). Además, hay «preciosidades» como el azúcar, que, como explicó Sidney Mintz, dejó de ser un bien de lujo y se convirtió en un producto barato para



- HORNBERG, A. (1998): Toward an ecological theory of unequal exchange: articulating world system theory and ecological economics, *Ecological Economics*, 25 (1), pp. 127-36.
- HORNBERG, A. (1998): «Ecosystems and World Systems: accumulation as an ecological process», *Journal of World-System Research*, IV(2), pp. 169-177.
- HUBACEK, K. y GILJUM, S., (2003): «Applying physical input-output analysis to estimate land appropriation of international trade activities», *Ecological Economics* 44 (1), pp. 137-151.
- JENSSEN, O., (ed.) (1925): *Marxismus und Naturwissenschaft: Gedenschriften zum 30. Todestage des Naturwissenschaftlers Friedrich Engels*, mit Beiträgen von F. Engels, Gustav Eckstein und Friedrich Adler, Verlag des Allgemeinen Deutschen Gewerkschaftsbundes, Berlin..
- KORMONDY, E. J. (1965): *Readings in ecology*, Prentice-Hall, Englewoods Cliffs, NJ.
- LEACH, G. (1975): *Energy and food production*, IPC Science and Technology Press, Guildford.
- LOTKA, A. J. (1925): *Elements of Physical Biology*, Williams and Wilkins, Baltimore.
- MARTÍNEZ-ALIER, J. y SCHLÜPMANN, K. (1987): *Ecological economics. Energy, environment and society*, Blackwell, Oxford, (versión castellana, FCE, México, 1991).
- MARTÍNEZ-ALIER, J., (ed.) (1995): *Los principios de la economía ecológica* (Textos de Podolinsky, Geddes y Soddy), Argentiaria-Visor, Madrid.
- MARTÍNEZ-ALIER, J., MUNDA, G. y O'NEILL, J. (1998): «Weak comparability of values as a foundation for ecological economics», *Ecological Economics*, 26, pp. 277-86.
- MARTÍNEZ-ALIER, J. (2002): *The environmentalism of the poor. A study of ecological conflicts and valuation*, Edward Elgar, Cheltenham UK, Northampton MA.
- MARX, K. (1969): *Das Kapital*, vol. I, 1867; vol. III, 1894, Ullstein Verlag, Francfort-Viena-Berlin.
- MARX, K. y ENGELS, F. (1976): *Lettres sur les sciences de la nature et les mathématiques*, Mercure de France, París.
- MAYER, J. R.: *Die organische Bewegung in ihrem Zusammenhang mit dem Stoffwechsel*, Heilbronn, published also in *Die Mechanik der Wärme: gesammelte Schriften*, Stuttgart, 1893, W. Ostwald, *Klassiker der exacten Naturwissenschaften*, Akademische Verlag, Leipzig, 1911.
- MCNEILL, J. R. (2000): *Something new under the sun. An environmental history of the twentieth-century world*, Norton, Nueva York.
- MOLESCHOTT, J. (1850): *Lehre der Nahrungsmittel. Für das Volk*, Enke, Erlangen.
- MOLESCHOTT, J. (1851): *Physiologie des Stoffwechsels in Pflanzen und Thieren*, Erlangen.
- MOLESCHOTT, J. (1852): *Der Kreislauf des Lebens, Von Zabern*, Mainz.
- MOUCHOT, A. (1869): *La chaleur solaire et ses applications industrielles*, Gauthier-Villars, París, 2ª ed., 1979.
- MURADIAN, R. y MARTÍNEZ-ALIER, J. (2001): «Trade and the environment from a "southern" perspective», *Ecological Economics*, 36, pp. 281-97.
- MURADIAN, R., O'CONNOR, M. y J. MARTÍNEZ-ALIER. (2002): «Embodied Pollution in Trade: Estimating the 'Environmental Load Displacement' of Industrialised Countries», *Ecological Economics* 41(1), pp. 41-57.
- MURADIAN, R. (2002): «Nepad and the environment: Envisioning the ecological consequences of outward-oriented development in Africa», en Anyang'Nyong'o, P., Ghirmazion, A. y D. Lamba (eds.), *New Partnership for Africa's Development: A New Path?*, Heinrich Boell Foundation, Nairobi.
- MURADIAN, R., MARTÍNEZ-ALIER, J. y CORRERA, H. (2003): «International capital vs. local population: the environmental conflict of the Tambogrande mining project, Peru», *Society and Natural Resources*, vol. 16 .
- MURADIAN, R. y MARTÍNEZ-ALIER, J. (2003): Economic specialization and the international distribution of environmental burdens, en Serfati, C. (ed.), *Enjeux de la mondialisation: un regard critique*, 8ª edición., Toulouse.
- NAREDO, J. M. y VALERO, A. (1999): *Desarrollo económico y deterioro ecológico*, Argentiaria-Visor, Madrid.
- NAREDO, J. M. y CAMPOS, P. (1980): «Los balances energéticos de la agricultura española», *Agricultura y Sociedad*, 15.
- O'CONNOR, J. (1988): «Introduction», *Capitalism, Naure, Socialism*, 1.
- ODUM, H. T. (1971): *Environment, power and society*, Wiley, Nueva York.
- O'NEILL, J. (1993): *Ecology, policy and politics*, Routledge, Londres.
- O'NEILL, J. (2002): «Socialist calculation and environmental valuation: money, markets and ecology», *Science and Society*, Spring.
- PENGUE, W. (2002): «Lo que el Norte le debe al Sur. Comercio desigual y deuda ecológica», *Le Monde Diplomatique* (Buenos Aires), abril.
- PÉREZ, M. A. (2004): *Dimensiones biofísicas del comercio exterior colombiano*, tesis de Maestría. Programa de Economía Ecológica y Gestión Ambiental, Universidad Autónoma de Barcelona.
- PFAUNDLER, L. (1902): «Die Weltwirtschaft im Lichte der Physik», *Deutsche Revue*, 22, abril-junio, pp. 29-38, 171-82.
- PIMENTEL, D. et al. (1973): «Food production and the energy crisis», *Science*, 182, pp. 443-9.
- PIMENTEL, D. y FOOD, M. (1979): *Energy and society*, Arnold, Londres.
- RAPPAPORT, R. (1967): *Pigs for the ancestors: ritual in the ecology of a New Guinea people*, Yale U.P., New Haven.
- REES, W. y WACKERNAGEL, M. (1994): «Ecological footprints and appropriated carrying capacity», en A. M. Jansson et al. (eds.), *Investing in natural capital: the ecological economics approach to sustainability*, ISEE, Island Press, Washington, D.C.
- SCHMIDT, A. (1978): *Der Begriff der Natur in der Lehre von Marx*, 3ª ed., EVA, Francfort-Colonia.
- SCHNEIDER, J. (1977): «Was there a pre-capitalist world system?», *Peasant Studies*, VI(1), pp. 20-29, juni.
- SIEFERLE, R. P. (1982): *Der unterirdische Wald. Energiekrise und industrielle Revolution*, Beck, Munich, (English trans., White Horse Press, Cambridge, U.K., 2001).
- SUSILUOTO, I. (1982): *The origins and development of systems thinking in the Soviet Union. Political and philosophical controversies from Bogdanov and Bukharin to present-day reevaluations*, Suomalainen Tiedeakatemia, Helsinki.
- THOMAS, WILLIAM L. Jr. (ed.) (1956): *Man's Role in Changing the Face of the Earth*, University of Chicago Press, Chicago.
- VERNADSKY, V. (1924): *La Géochimie*, Alcan, París.
- WEBER, M. (1909): «Energetische Kulturtheorien», *Archiv für Sozialwissenschaft und Sozialpolitik*, 29, repr. en Max Weber, *Gesammelte Aufsätze zur Wissenschaftslehre*, 3ª ed., J. C. B. Mohr (Paul Siebeck), Tübingen.
- WEISZ, H., et al. (2002): *Economy-wide Material Flow Accounts and Indicators of Resource Use for the EU*. Eurostat Tender 2001/S125 – 084782/ EN. Final Report, Luxemburgo.
- WHITE, L. (1943): «Energy and the evolution of culture», *American Anthropologist*, 45(3).
- WHITE, L. (1959): «The energy theory of cultural development», en Morton H. Fried (ed.), *Readings in Anthropology*, Thomas Y. Cromwell, Nueva York, vol. II, pp. 139-46.
- WOLMAN, A.: «The Metabolism of Cities», *Scientific American*, 213(3), pp. 178-193.