

# Cuantificando el capital natural. Más allá del valor económico

José Manuel Naredo\*



J. M. Naredo, Santiago de Chile, Noviembre 1998.

## INTRODUCCIÓN

En los últimos tiempos, la preocupación por los aspectos ecológicos o ambientales ha ganado en extensión e intensidad. Y a la vez que esta preocupación aumentaba se ha observado también un desplazamiento de su centro de gravedad desde un conservacionismo originariamente apoyado en consideraciones éticas y estéticas, hacia posiciones más pragmáticas y vinculadas con la gestión económica. De esta manera, las administraciones nacionales e internacionales con competencias económicas se han visto obligadas a tomar cartas en el asunto. Organismos como la OCDE, el Banco Mundial, la FAO, e incluso el FMI, dedican su atención a estos temas en publicaciones y líneas de trabajo.

Sin embargo, la mayor y más generalizada preocupación por la salud del medio ambiente planetario y por el empeño declarado de incluir las consideraciones ecológico-ambientales en la gestión económica, no han dado todavía frutos significativamente capaces de enderezar la situación global. Esta carencia se acusa tanto en el terreno de las realizaciones como en el de los enfoques y teorías. Se produce, así, una tensión creciente entre las preocupaciones globales enunciadas y la falta de planteamientos y acuerdos igualmente globales capaces de solucionarlas. En efecto, el consensuado dramatismo que destilan documentos que van desde el *Ma-*

*nifiesto para la supervivencia*, elaborado por Goldsmith y otros en 1972 y suscrito por una larga lista de científicos prestigiosos, el *Global 2000*, encargado en 1981 por Carter desde la presidencia de los Estados Unidos, hasta *Nuestro futuro común*, coordinado por Gro Harlem Brundtland en 1987, pasando por los sucesivos Informes del Club de Roma, explican que el organizador de la Cumbre de Río de 1992, Maurice Strong, pudiera presentar el encuentro como «la última oportunidad para salvar el planeta». Pero esta «última oportunidad» tampoco originó acciones correctoras globalmente eficaces de las tendencias al deterioro planetario que unánimemente se reconocían, como tampoco estableció esquemas teóricos capaces de guiar tales acciones en un futuro, sentando nuevos criterios para reorientar la gestión y los patrones de vida y de comportamiento característicos de la civilización industrial. Parece como si, a medida que aumentan la literatura y los organismos que se ocupan de estos temas, se fuera perdiendo la radicalidad (en el sentido de ir a la raíz de los problemas) de los planteamientos originarios, para adoptar otros cada vez más contemporizadores con el *statu quo* a modificar. O, también, como si el creciente volumen de literatura económica-ambiental estuviera contribuyendo más a encubrir que a plantear los principales conflictos y problemas ecológicos que la gestión

\* Fundación Argentaria, Madrid. Ponencia en el congreso mundial de Economía Ecológica, Santiago de Chile, Noviembre 1998.

económica genera en la actualidad.<sup>1</sup> Resumiendo, que comúnmente se acepta que el comportamiento de la civilización industrial apunta hacia un horizonte de *insostenibilidad* ecológica, pero no existen medios claros y generalmente asumidos capaces de reorientarlo hacia metas *sostenibles*.

En mi libro *La economía en evolución* (1987, reed.1996)<sup>2</sup> subrayé que dicha reconversión necesitaba apoyarse en un enfoque *ecointegrador* que abriera la reflexión económica hacia el mundo físico, más allá del valor monetario, para analizar el proceso económico desde los recursos, antes de ser valorados, hasta los residuos, que también carecen de valor, relacionando dicha reflexión con la que habitualmente se practica en términos monetarios, pero debidamente ampliada al mundo de lo financiero, cuya influencia sobre la formación y distribución de los valores monetarios es cada vez mayor. Desde hace ya bastante tiempo he venido aplicando este enfoque al estudio de casos muy diversos,<sup>3</sup> evidenciando su potencia explicativa y orientadora para hacer que los modos de gestión tengan en cuenta los aspectos ecológicos, y sean así más viables o *sostenibles* en el tiempo que los actuales. Sin embargo, este tipo de enfoques, que surgió con fuerza en la década de los setenta, al calor de la «crisis energética» y de las preocupaciones sobre «los límites al crecimiento», se vio eclipsado por los vientos «desarrollistas» que empezaron a arreciar de nuevo, auspiciados por el posterior abaratamiento del petróleo y las materias primas. Hasta el punto de que, ahora, en vez de poner en cuestión la idea de crecimiento, subrayando su inviabilidad física global, se le ha devuelto credibilidad buscando hacerla «sostenible».<sup>4</sup>

El abaratamiento del petróleo y las materias primas, en general, hizo que la reflexión económica se trasladara desde los recursos hacia los residuos y desde los procesos físico-energéticos hacia los instrumentos monetarios, como si los residuos no surgieran del manejo de los recursos y si la cuerda aplicación de los instrumentos económicos, no exigiera el buen conocimiento de la realidad física a gestionar. Tanto el grueso de la literatura académica, como de los informes de las administraciones, han mantenido así una curiosa esquizofrenia en este campo: mucha preocupación por penalizar los residuos y por buscar instrumentos<sup>5</sup> económicos para paliar los «daños ambientales» y mucha despreocupación ante el bajo precio de

los recursos y por el funcionamiento integrado de los procesos físicos y monetarios cuya expansión genera dichos daños.

Sin embargo, tengo la impresión que quienes hemos mantenido el empeño de hacer reflexiones que integran los flujos físicos con los monetarios y ambos con los aspectos patrimoniales, nos encontramos al final de una especie de travesía del desierto en la que al fin se observa un panorama más receptivo para estos temas. En los últimos tiempos veo con gusto renacer el interés por modelizar y cifrar el funcionamiento físico de los sistemas de gestión, contabilizando conjuntamente su exigencia en energía y materiales, sus vertidos de residuos así como sus implicaciones territoriales. Este resurgir parte de perspectivas y problemas diferentes cuyo tratamiento acabó llevando a algunos especialistas, por simples razones de coherencia, hacia la aplicación de enfoques más sistémicos e integradores. Por una parte, está el análisis de la

<sup>1</sup> Naredo, J.M. (1998) «Sobre la función mixtificadora del pensamiento económico dominante», que introduce la carpeta titulada «Entre las ruinas de la economía», Archipiélago, nº33.

<sup>2</sup> Naredo, J.M. (1987, Reed.1996) *La economía en evolución*, Madrid, Siglo XXI eds.

<sup>3</sup> Entre estas aplicaciones cabe citar: Naredo, J.M. y Gaviria, M. (dirs.) (1978) *Extremadura saqueada. Recursos naturales y autonomía regional*, París, Rueda Ibérica y Barcelona, Ibérica de Eds. y Public.; Naredo, J. y Campos, P. (1980) «Los balances energéticos de la agricultura española», *Agricultura y Sociedad*, nº 15; Naredo, J.M. y Frías, J. (1988) *Flujos de energía, agua, materiales e información en la Comunidad de Madrid*, Consejería de Economía de la Comunidad de Madrid; Naredo, J.M. y Gascó, J.M. (1990) «Enjuiciamiento económico de la gestión de los humedales. El caso de las tablas de Daimiel», *Revista de Estudios Regionales*, nº 26; Naredo, J.M. y Gascó, J.M. (1997) «Spanish water accounts (summary report)» en San Juan, C. y Montalvo, A. (Eds.) *Environmental Economics in the European Union*, Madrid, Mundi-Prrensa y Univ. Carlos III de Madrid; López-Gálvez, J. y Naredo, J.M. (1996) *Sistemas de producción e incidencia ambiental del cultivo en suelo enarenado y en sustrato*, Madrid, Fundación Argentea y Visor Distrib.; NAREDO, J.M. (1996) *La burbuja Inmobiliaria financiera en la coyuntura económica reciente (1985-1995)*, Madrid, Siglo XXI eds.

<sup>4</sup> *La literatura económico-ambiental ha girado más en torno a esa «cuadratura del círculo» que es el logro de un «desarrollo sostenible», que el seguimiento de las variables que informan sobre si mejora o empeora la sostenibilidad global de los sistemas y procesos económicos.*

<sup>5</sup> *En el texto sobre «La evolución reciente del pensamiento económico» que prologa la 2ª edición de mi libro *La economía en evolución*, se subraya la «deriva instrumental» que aleja cada vez más a la economía académica de los problemas del mundo en que vivimos, «deriva» que también afecta a la llamada «economía ambiental».*

contaminación, que acabó asumiendo a veces posiciones preventivas y refinando las «auditorías ambientales» al funcionamiento integrado de los procesos y razonando así sobre el

conjunto de los flujos de energía y materiales que los integran. Por otra, los análisis de «ciclo de vida» (y de «calidad total»<sup>6</sup>) de los productos, también hicieron razonar a algunos de sus practicantes en términos de «ecobalances» referidos al conjunto de los flujos físicos movilizados. Estos análisis conectan con los que directamente apuntan hacia la «ecología industrial»,<sup>7</sup> como reza el título del libro de Ayres, R.U. y L.W. (1996),<sup>8</sup> hacia el análisis de los flujos de energía y materiales a distintos niveles de agregación, entre los cuales destacan los trabajos vinculados al Instituto Wuppertal,<sup>9</sup> y hacia la incidencia territorial.<sup>10</sup> Estos trabajos están contribuyendo a precisar y divulgar conceptos tales como el «requerimiento total de materiales» (diferenciándolo del requerimiento directo) de las actividades económicas y los países, o los de «mochilas» y «huellas» de deterioro que arrastran tras de sí la elaboración y uso de los productos, las instalaciones o los asentamientos humanos.<sup>11</sup>

Por otro lado, desde el ángulo de lo monetario, asistimos también a una mayor preocupación por los aspectos patrimoniales y financieros. El nuevo Sistema de Cuentas Nacionales (SCN 93) acordado en el marco de las Naciones Unidas, con el consenso de los principales organismos con competencias económicas, es un buen reflejo de la mayor atención que tiende a prestarse a estos aspectos: el nuevo SCN 93, que orientará las contabilidades nacionales de los países durante los próximos años, incorpora a la vez cuentas financieras y cuentas de patrimonio por grupos de agentes económicos, lo que permitirá analizar aspectos que permanecían a la sombra de las contabilidades y análisis de flujos ordinarios.

Sin embargo, en lo que concierne al patrimonio natural, no se han conseguido implantar las bases metodológicas y administrativas necesarias para establecer el seguimiento estadístico de la evolución de los elementos y sistemas que componen dicho patrimonio.<sup>12</sup> Ésta es la hora que, a pesar de las crecientes preocupaciones por la conservación del patrimonio natural, disponemos de datos tan extremadamente incompletos y heterogéneos, que a penas nos permiten hablar con más precisión de lo que lo hacía Platón en sus diálogos cuando se refería a «lo que nos queda de la Tierra», pensando sobre todo en la erosión<sup>13</sup> y sus secuelas, ya que difícilmente podía imaginar los deterioros ocasionados por las potentes intervenciones extractivas y contaminantes que puso en mar-

<sup>6</sup> Taguchi, G., Elsayed, A. y Siang, T. H. (1988), *Quality engineering in production systems*, Mac Graw Hill Books Co., Nueva York; y Arimany, L. (1992), «La función de calidad de Taguchi y el consumo de energía», *V Jornadas sobre la Calidad de la Industria Energética*, Córdoba.

<sup>7</sup> Sobre la convergencia de esta línea de trabajo véase Allen, D. T y Rosselot, K.S. (1994), «Pollution prevention at the macro scale: flows of wastes, industrial ecology and life cycle analysis», *Waste Management*, Vol. 14, Nos. 3-4.

<sup>8</sup> Ayres, R.U. y Ayres, L.W. (1996), *Industrial Ecology. Towards closing the materials cycle*, Edward Elgar Publishing, Cheltenham UK y Northampton USA.

<sup>9</sup> Como síntesis de estos enfoques cabe destacar la publicación de Adriaanse, A. et al. (1997) *Resource flows: The material basis of industrial economies*, World Resources Institute (USA), Wuppertal Institute (Germany), Netherlands Ministry of Housing, Spatial Planning and Environment (Netherlands), National Institute for Environmental Studies (Japan), con estudios referentes a Alemania, Holanda, Estados Unidos y Japón. Merece especial interés también, en esta línea, el estudio de Fischer-Kowalski, M. y Haberl, H. (1997), «Tons, Joules, and Money: Modes of Production and Their Sustainability Problems», *Society & Natural Resources*, n° 10, pp. 61-85, referido a Austria.

<sup>10</sup> Wackernagel, M. y Rees, W. (1995) *Our ecological footprint: Reducing human impact on Earth*, Philadelphia, New Society Publishers.

<sup>11</sup> La idea de «mochila» de deterioro ecológico (ecological rucksack) aparece básicamente vinculada a Friedrich Schmidt-Bleek, director del Departamento de Flujos de Materiales y Cambio Estructural del Instituto Wuppertal de Alemania. La idea de «huella» de deterioro ecológico (ecological footprint) se vincula a Wackernagel, M. y Rees, W., de la University of British Columbia, de Vancouver, Canadá, sobre todo a partir de su libro antes citado. A un concepto similar llegan, en los Países Bajos, Opschoor, H., Buitenkamp, M. y Wams, T. y otros, cuando hablan de «espacio ambiental» (environmental space) para referirse al espacio que los seres humanos (con un determinado estilo de vida) pueden utilizar en el medio natural sin ocasionar el deterioro progresivo de éste (añadiendo las exigencias de diversidad y estabilidad ecológicas a la idea más restringida de «capacidad de carga» (carrying capacity) de un territorio).

<sup>12</sup> La discusión sobre el modo de abordar la «problemática ambiental» que tuvo lugar durante la elaboración del SCN 1993, no permitió alcanzar ningún consenso en las propuestas de retocar los agregados para obtener un «producto verde» o desarrollar macroindicadores alternativos. Este consenso sólo se logró para hacer una propuesta de conexión del SCN 1993, con sistemas de cuentas de los recursos naturales o ambientales desarrollados a modo de cuentas satélite. Esta propuesta de compromiso se plasmó en el manual de Naciones Unidas titulado *Integrated environmental and economic accounting*, publicado en 1993.

cha la civilización industrial. Así, en vez de empeñarnos tanto en precisar y discutir las inciertas consecuencias de un posible cambio climático, deberíamos preocuparnos algo más por seguir y controlar las intervenciones que con contundente certeza inciden diariamente sobre el territorio y los recursos naturales que contiene.

La presente ponencia invita a trascender ese «medioambientalismo» de los ochenta que originó la esquizofrenia intelectual antes mencionada, al tratar el «medio ambiente» como un área más a incluir junto a las otras en las administraciones o en los manuales al uso, induciendo a ocuparse de los residuos, pero no de los recursos, del clima, pero no del territorio, de la valoración monetaria, pero no de la información física subyacente, ... Para lo cual se requiere superar el oscurantismo hacia el que nos arrastran los enfoques parcelarios, adoptando un planteamiento económico más amplio, que enjuicie en toda su globalidad el patrimonio y los flujos físicos y financieros sobre los que se apoyan las sociedades actuales, desde los recursos hasta los residuos, desde el «tercer mundo» hasta los países de capitalismo «maduro». La ponencia avanzará por este camino ofreciendo como marco los resultados de una investigación reciente que ha relacionado las dimensiones antes mencionadas a escala planetaria.<sup>14</sup> Esta investigación informa sobre el metabolismo de la sociedad actual y su incidencia planetaria, para proponer y aplicar después una metodología que permite cuantificar el deterioro del patrimonio natural vinculado al principal flujo de materiales que lo nutre (el de las rocas y minerales extraídos de la corteza terrestre), analizando, por último, las reglas que rigen la evolución conjunta de los costes físicos y los valores monetarios que se generan a lo largo del proceso económico y proponiendo criterios que permitan corregir la asimetría que se observa entre ambos, que explica el foso acrecentado entre los países del «tercer mundo» y las metrópolis del mundo industrial: mientras aquellos se especializan en los procesos de extracción y elaboración físicamente más costosos y degradantes y económicamente menos valorados, éstas lo hacen en las fases menos costosas y más valoradas del proceso económico y en la gestión comercial y financiera. Tema éste que constituye la piedra angular de la escasez de capitales del «tercer mundo», sobre la que se asienta la dominación económica de que está siendo objeto, que fuerza su deterioro ecológico.

## EL METABOLISMO DE LA SOCIEDAD INDUSTRIAL Y SU INCIDENCIA PLANETARIA

### Estimación de los flujos físicos globales que moviliza la sociedad industrial

En el trabajo citado que sirve de base a esta ponencia se ha tratado de mejorar las sorprendentemente escasas e imprecisas estimaciones disponibles de la utilización que está haciendo la especie humana del aire, del agua, de la fotosíntesis y de los stocks de rocas y minerales contenidos en la corteza terrestre. En el caso de los productos derivados de la fotosíntesis y de la extracción de rocas y minerales, se han abordado estimaciones directas a partir de las estadísticas disponibles de las actividades implicadas, tratando de añadir precisión a las estimaciones globales al uso, apoyadas a veces en meras imputaciones per capita. La falta de series de datos solventes en este terreno denota una falta de apoyo administrativo que se muestra en flagrante contradicción con la extendida preocupación por los «problemas ambientales» de que tanto hacen gala las administraciones nacionales e internacionales. El Cuadro 1 adjunto pone de relieve la importancia en tonelaje de la extracción de recursos sobre la que se sostenía, según nuestros cálculos, la economía planetaria en 1995.

Una primera observación salta a la vista: la extracción de rocas y minerales de la corteza terrestre alcanza un tonelaje que triplica la de los productos derivados de la fotosíntesis.

---

*cuyos planteamientos son tan genéricos que le dan un carácter meramente orientativo y no el de un manual operativo que precise el modo en el que se han de hacer las cuentas. En este sentido sólo se dispone de las experiencias aisladas y heterogéneas que tuvieron lugar en los países, que algunos organismos (EUROSTAT, OCDE,...) tratan de coordinar.*

<sup>13</sup> «Lo que ahora subsiste, comparado con lo que existía, decía Platón, es como el esqueleto de un enfermo, pues toda la tierra pingüe y blanda se ha consumido y solamente quedan los huesos desnudos...» Glecken, C. (1967) *Traces on the Rodian Shore. Traducción española de 1996, Huellas en la playa de Rodas. Naturaleza y cultura en el pensamiento occidental desde la Antigüedad hasta el siglo XVIII, Barcelona, Eds. del Serbal, p. 139.*

<sup>14</sup> Naredo, J.M. y Valero, A. (Dir.) (1998) *Desarrollo económico y deterioro ecológico, Madrid, Fundación Argentaria y Visor Distrib. (actualmente en prensa).*

Cuadro 1

Tonelaje ligado a la extracción de biomasa y recursos minerales en 1995: Total Planetario (en 10<sup>9</sup> tm)

	Productos
Agrícola	3,6
Forestal	6,2
Ganadería	0,7
Pesca	0,1
<b>TOTAL AGRARIO</b>	<b>10,6 + pérdidas directas (17) + pérdidas indirectas (37)</b>
Combustibles fósiles	10,0 Mena (11) + Estériles (15) = 26
Minerales metálicos	1,0 Mena (4) + Estériles (12) = 16
Rocas y minerales no metálicos	21,0 Mena (22) + Estériles (3) = 25
<b>TOTAL ROCAS Y MINERALES</b>	<b>32,0 Mena (37) + Estériles (30) = 67</b>

Pro memoria:	Agua utilizada (10 <sup>12</sup> tm) en 1995
Riego	4,1
Otros usos	0,7
<b>TOTAL</b>	<b>4,8</b>

Fuente: NAREDO, J.M. y VALERO, A. (Dir.) (1999), Desarrollo Económico y Deterioro Ecológico, Madrid, Fundación Argenteria y Visor distribuciones.

Lo cual subraya la radical diferencia que separa el comportamiento económico de la actual civilización del practicado por la especie humana a lo largo de toda su historia: ésta había vivido fundamentalmente, al igual que las otras especies que componen la biosfera, de la fotosíntesis y sus derivados, mientras que ahora se apoya sobre todo en la extracción de stocks de la corteza terrestre. Con el agravante de que los materiales extraídos se utilizan primero y se suelen devolver después al medio como residuos, sin preocuparse de hacerlos retornar a su condición originaria de recursos, con consecuencias negativas para el conjunto de la biosfera.

Por otra parte, la simple extracción de combustibles fósiles se aproxima en tonelaje al de la extracción de todas los derivados de la fotosíntesis. Habida cuenta que el contenido energético de los combustibles fósiles por unidad de peso es varias veces superior al de la materia vegetal fresca, nos encontramos con que la especie humana utiliza solamente a partir de esta fuente fósil una energía muy superior a la derivada de la fotosíntesis, que se orienta a acrecentar el resto de la extracciones de la biosfera y la corteza terrestre, a transportarlas y a elaborarlas, forzando también una utilización cada vez más masiva del agua y del aire, como recursos y como sumideros. Recordemos ahora que las cantidades de agua y aire utilizados en la Tierra se

cifran en billones (10<sup>12</sup>) de toneladas, mientras que las extracciones producto de la fotosíntesis y de la corteza terrestre se cifran en miles de millones (10<sup>9</sup>) de toneladas. En la parte inferior del Cuadro 1 se incluye la estimación de la cantidad de agua utilizada. Ésta se acerca ya a la mitad del flujo anual de agua accesible y, al ser en buena parte devuelta en forma de contaminación, invalida una proporción todavía superior.

En los procesos de extracción, elaboración y manejo de materiales en gran escala, la especie humana se ve obligada a movilizar un tonelaje de tierras y de materia vegetal crecientemente superiores a los directamente utilizados, acentuando con ello el deterioro ocasionado en el medio (que se sumaría al provocado por los residuos). El Cuadro 1 resume la estimación desagregada, incluida en el trabajo de referencia, sobre el movimiento total de materiales ocasionado por las actividades agrarias y extractivas. La diferencia entre los productos comerciales obtenidos y el movimiento de materiales para conseguirlos culmina en el caso de los metales: la ganga y los estériles movilizados multiplican en este grupo por más de 10 el tonelaje de los minerales metálicos comercializados, siendo este ratio muchísimo mayor para sustancias como el oro y el cobre, cuya obtención y beneficio comporta además un manejo masivo de agua, energía y contaminación.

## Cuantificando el capital natural

En suma, que la intervención humana sobre la corteza terrestre orientada a la obtención de rocas y minerales supera en importancia a la de cualquier agente geológico. Los movimientos anuales de tierras ligados a las actividades extractivas se acercan ya a los setenta mil millones de toneladas, multiplicando por cuatro o cinco las toneladas de sedimento que se estima arrastran anualmente todos los ríos del mundo (unos 16.500 millones de toneladas) y empujando la importancia de los ciclos vitales de carbono y materia seca que moviliza la fotosíntesis (podemos cifrar la «producción primaria» de materia seca de las tierras emergidas en unos 132 mil millones de toneladas). De ahí que, con la civilización industrial, la Tierra se vaya convirtiendo cada vez más en una *gran mina*, como reza el título de la monografía incluida sobre el tema en uno de los informes sobre la situación del mundo promovidos por el World Watch Institute de Washington.<sup>15</sup> Todo lo cual justifica la necesidad de dar un tratamiento económico prioritario al uso que nuestra civilización está haciendo del «capital mineral» de la Tierra, como proponemos en el trabajo de referencia.

Vemos que la civilización industrial hizo posible que la especie humana utilizara una energía exosomática muy superior a la ingerida en forma de alimentos. Es precisamente, insistimos, ese uso exosomático de la energía el que le ha permitido acrecentar hasta los niveles antes mencionados la extracción y el transporte horizontal de materiales, rompiendo con los esquemas de funcionamiento de los ecosistemas naturales (en los que predomina el transporte vertical) y originando los problemas de contaminación de todos conocidos (al decir de Margalef,<sup>16</sup> la contaminación es una enfermedad originada por ese transporte horizontal). Subrayemos ahora que al forzar, mediante el manejo de esta energía exosomática, la recolección de productos derivados de la fotosíntesis a través de la agricultura, la pesca y la explotación forestal modernas, se están deteriorando los recursos naturales que habían posibilitado originariamente el desarrollo de la fotosíntesis. La sostenibilidad de la agricultura tradicional se explica porque compatibilizaba sus extracciones con las posibilidades de recuperación de los ecosistemas locales, adaptando los cultivos y aprovechamientos a las vocaciones productivas de los territorios. Sin embargo, la agricultura moderna acostumbra a forzar las extracciones, a base de inyectar agua y fertilizantes,

desacoplando para ello los cultivos y los aprovechamientos de las posibilidades que ofrece el mantenimiento estable de los recursos naturales en los territorios y ocasionando el progresivo deterioro en éstos: pérdida de fertilidad de los suelos, de diversidad biológica, descenso de los niveles freáticos,...etc. De esta manera, tras haber erigido la noción de producción en centro de la ciencia económica, la civilización industrial está convirtiendo también en no renovables e insostenibles (al apoyarse en el deterioro conjunto de stocks minerales y de recursos bióticos) las únicas producciones que habían sido tradicionalmente renovables y sostenibles, a saber, las producciones de la agricultura, de las pesquerías y de los bosques.

La explotación y el uso del que han venido siendo objeto la biosfera, la corteza terrestre, la hidrosfera y la atmósfera ha dejado huellas evidentes de deterioro sobre el territorio (reducción de la superficie de bosques y otros ecosistemas naturales con gran diversidad biológica e interés paisajístico, avance de la erosión y pérdida de la cubierta vegetal, ocupación de los suelos de mejor calidad agronómica para usos extractivos, urbano-industriales e implantación de infraestructuras, etc). Pues los mayores requerimientos de agua, energía y materiales obtenidos de (y vertidos en) la Tierra, se traducen en mayores requerimientos e incidencias territoriales.<sup>17</sup>

<sup>15</sup> Young, J.E. (1992) «La Tierra convertida en una gran mina», en La situación del mundo en 1992, Brown, L. (Edt.), Washington, World Watch Institute (hay traducción española de Eds. Apóstrofe, Barcelona).

<sup>16</sup> Margalef, R. (1992) Planeta azul, planeta verde, Barcelona, Prensa Científica S.A. y Biblioteca Científica American.

<sup>17</sup> Por ejemplo, en el caso de la región de Madrid se ha podido comprobar que entre 1957 y 1980 se había duplicado el requerimiento total de suelo por habitante (excluyendo el suelo de uso agrícola) a la vez que aumentaron las exigencias de energía, agua y materiales. La mayor ocupación de suelo por habitante se debe básicamente al aumento de la segunda residencia y de los usos indirectos (embalses, vertederos, actividades extractivas, viario, etc). En 1957 estos usos indirectos suponían sólo el 10 % del territorio de la región de Madrid ocupado para fines no agrarios, mientras que en 1980 pasó a representar el 32 %. Es decir, que el nuevo modelo de asentamiento poblacional se revela mucho más consumidor de suelo que el antiguo, ya que por cada dos hectáreas de ocupación urbana directa requiere otra de ocupación indirecta. (Datos tomados de García Zaldívar, R., Gasco, J.M., López Lhaja, J. y Naredo, J.M. (1983). Evaluación de la pérdida de suelo agrícola debido al proceso de urbanización en la Comunidad de Madrid, Madrid, Dirección General de Acción Territorial y Urbanismo, MOPU). Así, cada modelo de utilización de flujos físicos deja una huella territorial diferente.

Aunque el análisis de estos requerimientos e incidencias territoriales sería un complemento de gran interés para el análisis de flujos físicos que estamos abordando, nos vemos obligados a dejarlo fuera de este estudio.<sup>18</sup>

### La «desmaterialización» que no llega

En el trabajo de referencia se ofrecen series históricas de datos sobre la extracción de las principales sustancias de la corteza terrestre, mostrando el espectacular crecimiento que acusó durante los últimos treinta o cuarenta años, sin que en los últimos tiempos apunte al estancamiento o disminución, salvo algunas excepciones, como el plomo y el estaño. Los esfuerzos por mejorar la eficiencia de los procesos no se han traducido, así, en una reducción generalizada de las extracciones, todo lo más han contribuido a moderar este crecimiento en algunas sustancias, a parte de las excepciones a las que acabamos de referirnos motivadas por razones tecnológicas y cambios de normativa. En suma, como atestiguan los datos no cabe hablar de «desmaterialización» generalizada de nuestras sociedades, sino todo lo contrario, al aumentar su requerimiento total de materiales incluso en las sociedades más «avanzadas», aunque en éstas pueda disminuir el requerimiento directo de materiales, habida cuenta de la tendencia a desplazar fuera sus fronteras las primeras fases de extracción y tratamiento, que se une a las mejoras de eficiencia observadas en los procesos parciales que albergan. Con ello se privilegia el medio ambiente *local* de los países ricos pero a costa de un mayor deterioro del medio ambiente *global* utilizado como fuente de recursos y sumidero de residuos. Coincidiendo con otros análisis recientes sobre el tema, podemos concluir que, al menos, «la *desmaterialización*, en el sentido de una reducción absoluta en el uso de recursos naturales, no

está teniendo todavía lugar»<sup>19</sup> ni siquiera en los países ricos, y menos todavía en las llamadas «economías emergentes» o en las más o menos eufemísticamente calificadas como «en vías de desarrollo». Lo cual refuerza el interés de trabajar en el sentido en el que lo estamos haciendo. Porque la creencia en la *desmaterialización*, al sugerir el avance normal e inequívoco hacia un tipo de sociedad «postindustrial» cada vez menos dependiente de los recursos naturales, ha favorecido la despreocupación por conocer y mejorar el funcionamiento material de la sociedad, para hacerlo ganar en ahorro y eficiencia. En otras palabras, el espejismo de la *desmaterialización*, al soslayar los aumentos en el Requerimiento Total de Materiales que de hecho se seguían produciendo, ha contribuido a eclipsar las preocupaciones que deberían contribuir a que tal desmaterialización se produzca realmente con generalidad.

Por otra parte, la evolución de los precios de las materias primas minerales observada en el último decenio no ha incentivado el ahorro y reciclaje de las mismas. En efecto, las series de datos contenidas en el trabajo de referencia muestran que el abaratamiento relativo observado en la mayoría de las sustancias, incide sobre el estancamiento o la reducción que tiene lugar en los últimos tiempos en el porcentaje de la demanda que se abastece a partir del reciclaje, por contraposición al aumento observado al calor del encarecimiento generalizado de las mismas que acompañó a la llamada «crisis energética». Vemos pues que justo ahora que se habla de la «desmaterialización» y del «desarrollo sostenible», la realidad apunta en sentido contrario, ya que no solo aumenta el requerimiento total de materiales, sino que se abastece a base de aumentar las extracciones y los residuos, desincentivando el reciclaje del stock de materiales en uso.

### Las desigualdades territoriales

Resulta obligado subrayar el desigual reparto que se observa a escala mundial en el uso de los materiales y la energía extraídos, que fuerza el enorme trasiego de éstos a lo largo y a lo ancho del planeta. Conviene advertir que el desequilibrio entre los recursos naturales requeridos por los países ricos y las dotaciones de sus territorios, se acentuó enormemente a partir de la segunda guerra mundial. En efecto, durante el capi-

<sup>18</sup> El lector interesado pueda encontrar en el trabajo de Wackemagel y Rees (1995), *Our ecological footprint, antes citado, desarrollos en este sentido.*

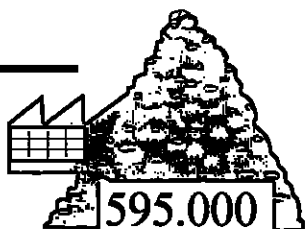
<sup>19</sup> Adriaanse, A. et al. (1997), *Resources flows: The material basis of industrial economies*, Washington: World Resources Institute (USA), Wuppertal Institute (Germany), Netherlands Ministry of Housing, Spatial Planning and Environment (Netherlands), National Institute for Environmental Studies (Japan).

# Producción mundial de hulla por continentes

En millares de toneladas **en 1938**

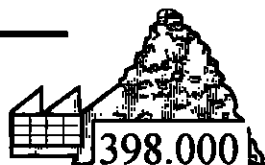
## Europa

sin U.R.S.S.



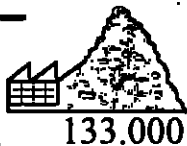
Reino Unido 230.658  
Alemania 186.179

## América del Norte



Estados Unidos 385.000

## U.R.S.S.



## Asia-Oceanía

sin U.R.S.S.



## África



Unión Sudafricana 21.000

## América del Sur



Chile 2.044

## América Central



Total 1.220.000

talismo carbonífero, la explotación de los principales minerales utilizados (carbón y hierro) se realizaba básicamente en los países cuna de la revolución industrial. El Gráfico 1 adjunto, tomado de un libro de hace medio siglo<sup>20</sup> sobre recursos naturales, denota que los principales productores de carbón eran los principales países consumidores. Asimismo, en esa época, sólo el 7 % del hierro utilizado en los países ricos era importado de fuera de sus territorios. Incluso en recursos peor distribuidos en el mundo, como la bauxita y el petróleo, en los países ricos la importación sólo abastecía el 21 y el 25 %, respectivamente, de sus demandas. En el caso del petróleo Estados Unidos era el primer país consumidor, pero, también, el primer país productor, que se autoabastecía sin problemas. Sin embargo, el consumo de carbón y de petróleo en estos países se multiplicó desde entonces por cinco y por diez, respectivamente, originando un desacoplamiento mucho mayor entre los requerimientos y las disponibilidades de sus territorios. Lo mismo ocurrió con la mayoría de los minerales, para los que estos países son generalmente importadores netos, mostrando que sus economías se mantienen poniendo a su servicio el resto del planeta, como fuente de recursos y como sumidero de residuos. De todas maneras hay que distinguir, al menos, el caso de Estados Unidos del de Japón y la Unión Europea. El primero es un país que cuenta con un gran territorio y con amplísimas dotaciones minerales. Lo cual, unido al mantenimiento de una política minera activa, hace que cuente con tasas de autoabastecimiento importantes e incluso que sea exportador neto en algunas sustancias, pese a lo elevado de sus demandas. Lo contrario ocurre con Japón y la Unión Europea, cuyas mucho más reducidas dotaciones, unidas a políticas desincentivadoras de la minería, hacen de ellos áreas fuertemente deficitarias. Con estas matizaciones, los mapas de los flujos mundiales de petróleo y de gas natural (Gráficos 2 y 3) son reveladores de la situación actual, al reflejar los principales núcleos utilizadores del «capital mineral» de la Tierra. El mapa referido al petróleo añade a los centros receptores netos de Estados Unidos, Japón y la Unión Europea, el de los «dragones» del sureste asiático, denotando que

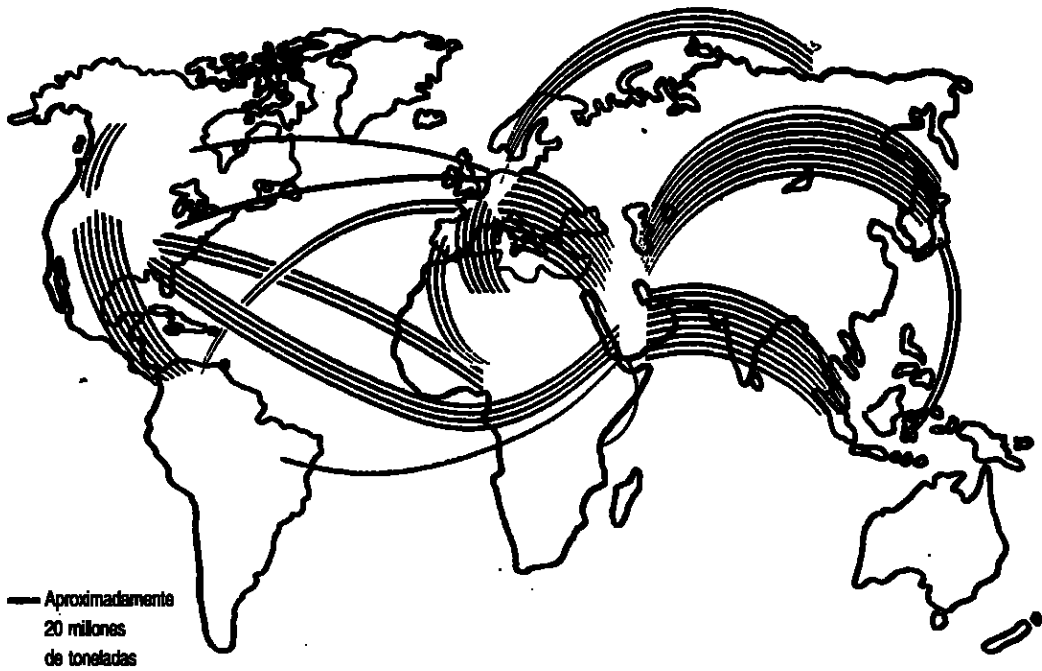
Fuente: Peyret, H. (1944). *La guerre des matières premières*. Paris, PUF.

<sup>20</sup> Peyret, H. (1944). *La guerre des matières premières*, Paris, PUF.



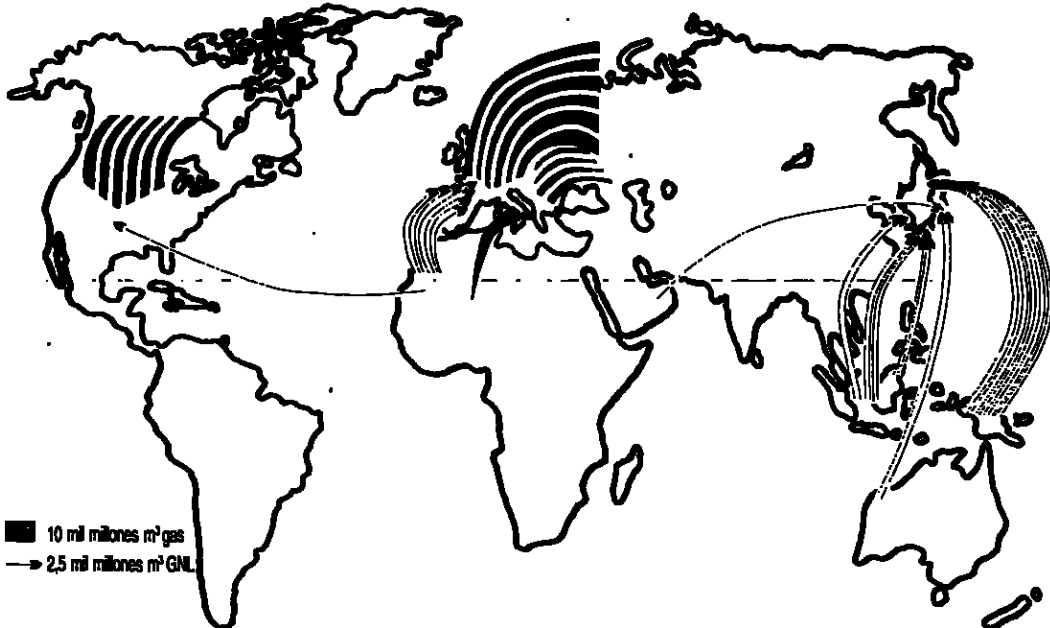
# ECONOMÍA ECOLÓGICA

Gráfico 2.- Petróleo - Flujos comerciales mundiales



Fuente: BP. Statistical Review of world energy.

Gráfico 3.- Gas Natural - Flujos comerciales mundiales



Fuente: BP. Statistical Review of world energy.

su «emergencia» económica no es ajena a la implantación de industrias muy exigentes en energía y contaminación. Sin embargo, en el mapa del gas natural estos «dragones» no figuran ya entre los grandes centros receptores, ya que se trata de un combustible más «limpio» cuyo consumo está reservado a los países ricos, más preocupados por cuidar su calidad ambiental.

### El requerimiento de materiales y su desigual distribución

El Cuadro 2 presenta el requerimiento directo (RDM) y el requerimiento total de materiales (RTM) medio per capita en el mundo y en los cuatro países para los que se disponía de información comparable. Los datos mundiales per capita resultan de dividir por las cifras de población las extracciones de productos bióticos y abióticos (y su incidencia total en tonelaje movilizado) recogidos en el Cuadro 1. Los datos de los cuatro países proceden del estudio publicado por el World Resources Institute (1997) de Washington sobre *Resources flows: The basis of industrial economies*, al que ya hicimos referencia.<sup>21</sup> La comparación de los datos medios mundiales con los de los países considerados resulta interesante, aunque sólo cabe tomarla a título indicativo habida cuenta las diferentes metodologías y fuentes utilizadas, así como los distintos años de referencia (la estimación mundial se centra en 1995, mientras que las de los países lo hacen en 1991). En efecto, la imprecisión de los datos no puede oscurecer diferencias de tal magnitud que resultan altamente reveladoras de una situación extremadamente desigual. El RDM medio de 7 toneladas per capita en el mundo, asciende a 17 en Japón, a 20 en USA, a 22 en Alemania y a 38 en Holanda. A la vez que el RTM pasa de 18 Tm per capita para la media mundial a 46, 84, 86 y 84, respectivamente, en estos países. Si mantenemos la hipótesis de que el RDM per capita de los países ricos (con el 16 % de la población mundial) multiplica por 4 la media mundial que acabamos de estimar, situándose en las 28 Tm per capita, el RDM del 84 % de la población restante sólo alcanzaría las 3 Tm per capita. Las diferencias son también acentuadas en lo que concierne al RTM: si a la vista de lo observado en los casos arriba indicados, mantenemos la hi-

pótesis moderada de que el RTM per capita de los países ricos multiplica por 4 la media mundial, alcanzando las 75 Tm per capita, el correspondiente al resto del mundo a penas rebasaría las 7 Tm per capita.

En el trabajo de referencia hemos podido comprobar, haciendo uso de las estadísticas de comercio internacional,<sup>22</sup> que el conjunto de los países ricos o «desarrollados» importan muchas más toneladas de las que exportan, acusando una entrada neta de materiales desde el resto del planeta. Como se observa en el Cuadro 4, esta entrada neta se mantuvo moderadamente creciente durante la década de los ochenta, alcanzando en 1990 los 1.136 millones de toneladas, según nuestras estimaciones. Lo cual viene a suponer que la cuarta parte de los 4.298 millones de toneladas movilizadas por el comercio internacional en ese año (Cuadro 3) se quedó en los países ricos. Esta entrada neta estaba compuesta mayoritariamente por combustibles fósiles (casi mil millones de toneladas), por otros derivados de actividades extractivas (casi doscientos millones de toneladas) y más escasamente por productos agroforestales y pesqueros. Siendo este conjunto de países sólo exportador neto de productos manufacturados, por un tonelaje muy inferior (menos de cuarenta millones de toneladas) al de los productos primarios importados. Aunque no hemos podido prolongar, por falta de información, el cálculo hasta 1995, si esta entrada neta hubiera crecido en el quinquenio a la misma tasa que el comercio internacional, sobrepasaría ya en 1995 los 1.400 millones de toneladas.

<sup>21</sup> World Resources Institute, Wuppertal Institute, et al. (1997) *Resources Flows: The material basis of industrial economies*, World Resources Institute, Washington VI + 66 pp.

<sup>22</sup> Una vez más sorprende la esquizofrenia comentada: la sobredosis de datos en dólares contenidos en las estadísticas de comercio internacional, vaya acompañada de una penuria cada vez mayor de datos en unidades físicas. Por ejemplo, a partir de 1990 el International Trade Statistical Yearbook, de la ONU omite la agregación de los datos en toneladas que ofrecía con anterioridad.

## ECONOMÍA ECOLÓGICA

Cuadro 2

Requerimiento Directo (RDM) y Requerimiento Total de Materiales (RTM) en Tm per cápita. Mundo 1995.  
Países seleccionados 1991 (se excluye aire y agua)

	MUNDO	USA	JAPON	ALEMANIA	HOLANDA
RDM	7	20	17	22	38
RTM	18	84	46	86	84
RTM importados	-	5	25	31	62
RTM propios	-	79	21	55	22

Fuente: Mundo: elaboración propia a partir del cuadro 1

Países: World Resources Institute et al. (1997), Resources Flows: The material basis of industrial economies.

Cuadro 3

Evolución de las exportaciones mundiales en tonelaje, 1981-1995. (Miles Tm)

	1981	1985	1990	1995*
Productos Agrarios	479.052	427.845	939.737	1.148.670
Combustibles	1.666.025	1.499.580	1.895.868	2.341.215
Industrias Extractivas	563.304	555.082	650.962	887.563
Manufacturas	415.605	556.519	811.355	1.104.207
<b>TOTAL</b>	<b>3.123.986</b>	<b>3.039.026</b>	<b>4.297.922</b>	<b>5.481.655</b>

Fuente: *Ibidem*

\*Estimación en base a las tasas de crecimiento anual del volumen por grupo de mercancías

Cuadro 4

Flujos comerciales netos de los países desarrollados en términos físicos, 1981 y 1990

		Tonelaje (Miles deTm)		Neto
		Exportación	Importación	
Prod. Agro.	1981	64.305	59.876	4.239
	1990	71.457	114.219	-42.762
Ind. Extract.	1981	18.592	184.842	-166.249
	1990	25.863	208.110	-182.247
Combustibles	1981	33.633	868.793	-835.159
	1990	47.951	995.250	-947.298
Manufacturas	1981	64.048	19.447	44.600
	1990	71.218	35.312	35.906
Saldo total	1981	180.568	1.132.958	-952.569
	1990	216.490	1.352.891	-1.136.401

Fuente: *Ibidem*. La serie de datos en tonelaje desaparece a partir de 1990 en el Anuario de Comercio Internacional de Naciones Unidas tomado como base, por lo que no se ha podido actualizar el cuadro.

### El problema de los residuos se concentra en los países ricos

Esta enorme entrada neta de recursos tarde o temprano acaba convirtiéndose en residuos que rara vez son objeto de recuperación o reciclaje, haciendo que la acumulación de residuos sea el primer problema de «política ambiental» en estos países: no preocupa tanto la causa (el manejo tan masivo de recursos traídos de todo el mundo y el daño que causa en los países de origen) sino sus efectos (los residuos y el deterioro que ocasionan en los países receptores). Bajo la divisa NIMBY («not in my backyard»: no en mi patio) se trata de alejar la incidencia negativa de los residuos de sus propios territorios existiendo una presión creciente para devolverlos al resto del mundo. En el caso de la quema de combustibles, son los vientos los que se ocupan de redistribuir gratuitamente el CO<sub>2</sub> y otros residuos por la atmósfera planetaria. Y en el de los vertidos líquidos, son los cauces de agua los que acaban llevándolos al sumidero común de los mares. Así, las discusiones se centran más bien en los residuos sólidos y muy particularmente en los considerados tóxicos o peligrosos. Parece lamentable que no exista un control estadístico serio de la emisión y transporte de estos residuos a escala planetaria (Greenpeace promovió un inventario obligadamente incompleto de los mismos,<sup>23</sup> sumándose después otros intentos igualmente parciales o incompletos por parte de algunos organismos internacionales): la política NIMBY prima entre los principales países emisores, sobre los que recayó, con escasas excepciones, el calificativo de «los siete siniestros» que esta organización ecologista aplicó a los siete países que se opusieron en la convención de Basilea, en 1989, a prohibir la exportación de residuos. Esta polémica sobre la libre exportación de residuos volvió a aflorar en diversas ocasiones, incluida la cumbre de Río de Janeiro, en 1992, originando peticiones de cese de este tipo de actividades. No obstante, lo reiterado de estas discusiones y demandas denota que prohibir que los países ricos exporten residuos al resto del planeta, resulta incoherente con la lógica dominante: una vez que el comercio ha puesto los recursos planetarios a disposición de los países ricos, se pide ahora a la «política ambiental» que establezca las reglas del juego económico necesarias para que el comer-

cio pueda poner también a su disposición los sumideros planetarios.

La creciente presión de los países ricos para desembarazarse por vías baratas y efectivas de los residuos que generan ha llevado a considerar la posibilidad de enviar algunos a las grandes profundidades de los mares, como la solución ecológica y socialmente menos problemática: los grandes fondos marinos pueden constituir así el basurero ideal de acuerdo con la lógica dominante de no exigir a los agentes económicos que se responsabilicen de reciclar, o al menos de «neutralizar», *in situ* los residuos que originan. Como apunta Ramón Margalef,<sup>24</sup> resulta altamente previsible que la política ambiental acabe regulando la utilización de estas zonas como sumidero común, para garantizar legalmente, mediante el pago de ciertas tasas, el derecho a contaminar de los países ricos.

### El papel del comercio y las finanzas en la aceleración de la extracción de recursos y la generación de residuos

¿Pero cuales son los mecanismos económicos que otorgan a ciertos países, o más concretamente a los «agentes económicos» domiciliados en ellos, suficiente capacidad de compra para usar no sólo los recursos, sino también los sumideros planetarios? En nuestro trabajo de referencia, se destinan varios capítulos a analizar y a ejemplificar tanto a nivel micro, como para el comercio mundial, los mecanismos que orientan la valoración de modo que tienda a equilibrar en térmi-

<sup>23</sup> Greenpeace (1991) The International trade in wastes. A Greenpeace Inventory, Washington.

<sup>24</sup> Margalef, R. (1998) «En busca de un marco conceptual en el que situar las realidades y perspectivas que aquejan a nuestra sociedad actual», en Economía, ecología y sostenibilidad en la sociedad actual, en Narado, J.M. Dir., Universidad de Verano de Castilla y León, Segovia, 27-31 de julio de 1998. Sobre las ventajas e inconvenientes del uso como sumidero de las grandes profundidades marinas, vease (1998) Journal of Marine Systems, nº 20, sobre el tema monográfico «Abyssal Seafloor Waste Isolation: A Technical, Economic, and Environmental Assessment of a Waste Management option», 210 pp. (Facts. en Margalef, *Ibidem*).

nos monetarios el desequilibrio que globalmente plantea el comercio en términos físicos. Se constatan factores socio-institucionales que provocan una fuerte asimetría entre el coste físico y la retribución monetaria de los procesos que beneficia a los países y empresas que se especializan en las fases finales de gestión y comercialización, haciendo que la creciente especialización internacional acentúe el desequilibrio «Norte-Sur». Pero a la propia incidencia de la valoración monetaria regida por esta asimetría, se superpone el juego de un sistema financiero, que contribuye cada vez más a reforzar el poder económico de los países ricos y sus «agentes económicos», más allá de lo que permitirían los equilibrios meramente comerciales. No cabe ignorar los aspectos financieros que resultan cada vez más importantes a la hora de estudiar los procesos de dominación económica y de deterioro ecológico que se observan en el mundo. Habida cuenta que lo ocurrido en el campo de lo financiero contribuye a acelerar las tendencias que apuntan hacia la polarización social y el deterioro ambiental, no cabe corregir estas tendencias haciendo abstracción de cómo se genera y distribuye la capacidad de compra sobre el mundo.

En este sentido me temo que esté en lo cierto Margalef,<sup>25</sup> cuando opina «que el poco éxito de los intentos de conectar de modo fructífero las ciencias de la economía y la ecología, proceden en gran parte de la dificultad, más inconsciente que consciente, de alcanzar un consenso común acerca de la defi-

nición, no sólo económica, sino también biológica, de esa convención social, que es el dinero» (y los activos financieros líquidos, en general, así como de la capacidad de las entidades públicas y privadas de crearlos y beneficiarse de ellos, añadimos nosotros). Teniendo en cuenta que esa «convención social» da poder, este autor establece una analogía entre el afán de acumulación y «el instinto territorial de muchos animales, que es respetado por otros individuos de su especie, como resultado de cierto consenso colectivo, generalmente específico, pero que a veces se extiende entre especies próximas ... que tienen mucho interés en el estudio del comportamiento y de la regulación de las poblaciones en las especies implicadas... Lo cierto es que el dinero es una convención estrechamente relacionada con los aspectos comentados acerca de la generación de diferencias individuales en el uso de los recursos, en la capacidad de maniobra en el propio uso de los recursos que da el dinero... que contribuye mucho más a la desigualdad (y al deterioro ambiental) que a la regulación de los flujos naturales en un mundo considerablemente humanizado».

El trabajo presentado analiza, entre otras cosas, la forma en la que se resuelven los equilibrios de las balanzas de pagos de los países a escala planetaria, recayendo obligadamente sobre los aspectos financieros. Ya que lo que resulta hoy determinante para que los países ricos equilibren sus balanzas de pagos no es la *balanza de mercancías*, sobre la que venían razonando tradicionalmente los manuales de economía, ni la de *servicios*, ni siquiera la *balanza corriente*, sino las operaciones de *capital a corto*, que mueven diariamente los mercados financieros. Una conclusión se desprende con claridad de este análisis: que la desigual capacidad que poseen los países para emitir pasivos que sean aceptados en el actual sistema financiero internacional, amplifica las desigualdades entre países pobres y ricos. Esta capacidad, que está en relación con el poder económico (y político) de los países, arrastra la paradoja de que los más ricos y poderosos sean a la vez los más endeudados.<sup>26</sup> Precisamente estos países y las empresas transnacionales que albergan, apoyan su creciente capacidad de compra sobre el mundo en el crédito que éste les otorga. Proceso éste que se apoya en el crecimiento de los activos financieros a ritmos muy superiores a los de los flujos físicos y los agregados de producto o renta nacional. Se produce así una importante

<sup>25</sup> Margalef, R. (1996), Una ecología renovada a la medida de nuestros problemas, Lanzarote, Fundación César Manrique (edición trilingüe en español, inglés y alemán), pp. 35-36 de la versión española.

<sup>26</sup> Esta circunstancia ya fue meditada por el propio Quesnay, quien en 1758, en la séptima observación a su *Tableau argumentaba del siguiente modo*: «...las naciones pobres necesitan una intervención mayor de dinero en el comercio, ya que en ellas se suele pagar todo al contado porque nadie puede confiar en las promesas de cualquiera. Pero en las naciones ricas existen muchos hombres reputados por su fortuna cuya promesa por escrito es aceptada como garantía segura a causa de su riqueza, de modo que todas las ventas importantes se hacen a crédito, es decir, por medio de recibos que reemplazan al dinero, facilitando considerablemente el comercio». Quesnay, F. (1758), «Le Tableau Economique» y otros escritos económicos, Ediciones de la Revista de Trabajo, 1974, pag.78.

## Cuantificando el capital natural

Cuadro 5  
Evolución de los principales agregados reales y financieros a escala mundial  
(Miles de millones de dólares)

	Población (Millones)	PIB p.c. (\$/hab)	PIB	Exportaciones	Inversión (FBCF)	Activos Financieros <sup>1</sup>
1982	4.586	2.426	11.130	1.752	2.911	13.864
1988	5.112	3.552	18.159	2.279	3.876	36.512
1995	5.666	5.003	28.352	4.890	5.681*	77.812
Tasa de Var: 1982-1995.(%)	1,6	5,7	7,5	8,2	5,3	14,2
Promemoria: Territorio habitable: 133 millones de Km <sup>2</sup>						

<sup>1</sup>Excluidos los productos financieros "derivados" negociables.  
\* 1994

Fuente: *Ibidem*.

*burbuja financiera*, cuyo valor crece a tasas muy superiores al incremento de las variables «reales», mediante un proceso de emisión y revalorización de activos financieros que, en general, mantiene escasa relación con el sustrato físico que, en teoría, debería respaldarlos.<sup>27</sup>

El Cuadro 5 cuantifica el fenómeno apuntado, pudiéndose observar cómo, durante los últimos tres lustros, el ritmo de crecimiento de los activos financieros mundiales alcanzó una tasa media anual del 14,2 %, doblando a aquella del agregado de producto o renta nacional. Lo cual hizo que mientras en 1982 el valor de los activos financieros mundiales apenas sobrepasara al del agregado de producto o renta nacional, en 1995 casi llega a triplicarlo, evidenciando la creciente desproporción entre las variables «reales» y las financieras, en la que aquellas van perdiendo importancia vertiginosamente. Desde esta perspectiva, quizás sea más importante poner de manifiesto el alejamiento progresivo que se observa entre la contribución de la Formación Bruta de Capital Fijo (FBCF o Inversión en las Cuentas Nacionales) al aumento del stock de capital físico y el aumento de los activos financieros, máxime cuando tradicionalmente la teoría económica ha venido presuponiendo que las dos variables deberían evolucionar paralelamente a medio plazo. Pues bien, lejos de acercar posiciones, la expansión de los activos financieros a un ritmo casi tres veces superior al de la FBCF, hace que ésta pasara de

suponer el 21 % de aquellos en 1982, al 11 en 1988 y a sólo el 7 en 1995.

La fuerte discrepancia antes observada entre el crecimiento de las magnitudes económicas «reales» y las financieras, llevo ya a F. Soddy a argumentar, a principios de siglo, que se estaba cayendo en el error de confundir la vara de medir la riqueza (el dinero como pasivo financiero) con la riqueza material y de esta manera la expansión de la deuda con el creci-

<sup>27</sup> Sorprende la falta de información que existe sobre la composición y distribución de la propiedad del patrimonio mundial, así como su relación con los activos financieros. Por ejemplo, sería importante, además de distinguir en qué medida contribuyen a la expansión de los activos financieros mundiales la simple revalorización de los que ya existían y la emisión de otros nuevos, aclarar hasta qué punto el valor de los nuevos activos emitidos se apoya en la simple titulación de riquezas preexistentes que eran propiedad de personas físicas, administraciones u otras entidades absorbidas por las empresas que sacan los nuevos títulos a cotizar en los mercados financieros. A lo que se añadiría la necesidad de aclarar también la variada relación que los nuevos instrumentos financieros «derivados» mantienen con los activos reales y financieros ordinarios. Esperemos que el nuevo sistema de Cuentas Nacionales acordado internacionalmente (el SCN 93), al incluir a la vez cuentas financieras y de patrimonio, permita ir iluminando estos aspectos tan importantes para poder interpretar cómo evoluciona y se comporta la economía mundial.

mięnto de la riqueza.<sup>28</sup> A través del dinero no sólo hemos asignado un «equivalente» financiero a la riqueza real, sino que hemos dejado atrás las restricciones impuestas al aumento de la riqueza, para razonar en términos de valores monetarios, que al no tener una dimensión física pueden expandirse ilimitadamente. Pero el dinero, al igual que los otros activos financieros, constituye un pasivo para aquella institución que lo emite. Por lo tanto, más que ser un signo de riqueza, el dinero se convierte en «...un símbolo de endeudamiento —una deuda. El dinero es una forma de deuda de la comunidad o de la nación, poseída por el individuo y debida por la comunidad, intercambiable a la demanda en riqueza por transferencia voluntaria de otro individuo que quiere separarse de la riqueza a cambio de dinero. El valor del stock total de dinero no es determinado por el stock de riqueza en existencia (o por el flujo de la nueva producción) sino, de una manera curiosa, por la riqueza que los individuos piensan que

existe pero que en realidad no existe: es lo que F. Soddy llamó *riqueza virtual*.<sup>29</sup> El problema, desde luego, es que la riqueza física carece de las atractivas «virtudes» del interés compuesto, que axiomáticamente acompaña a la riqueza monetaria; o también que frente al crecimiento siempre limitado o transitorio de la riqueza física, se antepone el crecimiento exponencial característico del mundo financiero. Uno de los problemas fundamentales que surge con la expansión incontrolada del dinero o de los activos financieros líquidos, en general, es que la relación deuda/riqueza se acaba quebrando. En efecto, el poder de las empresas para crear dinero en sentido amplio, o para emitir pasivos financieros que los mercados aceptan facilitando así su liquidez, está escapando cada vez más al control de la sociedad, lo que permite la expansión de los activos (pasivos) financieros a un ritmo que los distancia cada vez más del stock de riqueza física disponible y dentro de ésta del «capital natural» a cuya regresión asistimos día a día. Por ejemplo estimaciones como la del valor monetario medio de los servicios prestados por los ecosistemas, realizada por Costanza y otros<sup>30</sup> en 33 billones (10<sup>12</sup>) de dólares (de 1994), están llamadas a irse quedando pequeñas, no ya con relación al PIB agregado de los países, que crece a una tasa anual media del 7,5 %, alcanzando en 1995 a 28 billones de dólares corrientes, sino sobre todo con relación al total de activos financieros planetarios, que como vimos crecían a una tasa anual del 14 % y alcanzaba en ese mismo año los 78 billones de dólares (excluidos los productos financieros «derivados»). Lo que supone una presión creciente de la capacidad de compra sobre los recursos naturales, ambientales o territoriales planetarios, que tiende además a utilizarlos atendiendo a su simple coste de extracción o uso y no al de reposición. Lo cual se agrava, si se tiene en cuenta que la distribución del patrimonio se concentra más que la de la renta y que ambas tienden a empeorar y a polarizarse cada vez más a escala planetaria. De esta manera la mencionada «globalización» nos arrastra, al igual que ocurrió en su día con el reparto colonial del mundo, hacia el predominio de un juego económico de suma cero, en el que las ganancias de unos han de ser sufragadas por otros. Con la salvedad de que la tendencia al crecimiento continuado de la burbuja financiera mundial permite mantener entre los jugadores la idea de

<sup>28</sup> Soddy, F. (1926), *Wealth, Virtual Wealth and Debt*, Londres Allan and Unwin. (Una versión sintética de las aportaciones de Soddy a este respecto puede encontrarse en la selección de textos editada por J. Martínez Alier: *Los principios de la economía ecológica*. Textos de P. Geddes, S. Podolinsky y F. Soddy, Madrid, Fundación Argenteria-Visor Distribuciones, 1995). Abundando en esos aspectos, ha sido H. Daly quien recientemente ha efectuado una relectura de las propuestas de Soddy en el epílogo a su libro, en colaboración con J. Cobb, *For the Common Good*. La versión castellana de este epílogo tiene por título: «Dinero, Deuda y Riqueza Virtual», *Ecología Política*, 9; pp. 51-75.

<sup>29</sup> Daly, H. op. cit. p. 61.

<sup>30</sup> Costanza et al. (1997) «The value of the world's ecosystem services and natural capital», *Nature*, vol. 387, pp. 81-89. También publicado en *Ecological Economics*, 25 (1998), junto con artículos críticos de otros autores. En un epílogo incluido en este número, Costanza y los otros autores de la estimación, reconocen haberse confundido al tomar como punto de comparación un PIB planetario de hace diez años cifrado en sólo 18 billones. Sorprende que semejante error de bulto pasara desapercibido, no sólo con motivo de su publicación en una revista tan acreditada como *Nature*, sino de su divulgación por toda la prensa mundial. Ello es significativo de la ambigüedad que comportan tales ejercicios valorativos, que insensiblemente propicia un manejo poco riguroso de los otros agregados que deberían ser punto obligado de comparación. También refleja que no son muy habituales los razonamientos agregados a escala planetaria con un instrumental económico que pierde buena parte de su sentido a este nivel, al mostrar asimetrías tan manifiestas en su comparación con el mundo físico como las que se desprenden de las tasas de crecimiento antes mencionadas.

que se está produciendo un enriquecimiento generalizado, idea que se mantiene siempre y cuando la mayoría de ellos no quieran «realizar» sus ganancias.

### CAPITAL NATURAL, PRECIOS, COSTES DE EXTRACCIÓN Y DE REPOSICIÓN

En el contexto que acabamos de describir, los economistas tratan de resolver los problemas ambientales gravando la contaminación, para desincentivarla, y, con menos empeño, revalorizando los recursos naturales, para favorecer un uso más eficiente de los mismos. Pero la aplicación parcial y descontextualizada de estos instrumentos es incapaz de cambiar las reglas del juego que propician a la vez el *desarrollo económico* y el *deterioro ecológico* que diariamente se observan. Sintetizando los deterioros ocasionados en el medio por el doble manejo de recursos y residuos, Solow<sup>31</sup> señaló que el objetivo de la *sostenibilidad* para un economista ha de pasar por una revalorización del «capital natural» que facilite su mantenimiento e incluso su mejora, incluyendo dicho patrimonio en la categoría de *capital*. Recordemos que la noción de *capital* monetario habitualmente manejada por los economistas, corresponde sólo a un *stock de capital* físico que, al ser producido por el hombre en forma de instalaciones, inmuebles o infraestructuras diversas, resulta directamente valorable, bien por su coste (monetario) de producción o por el de reposición en una fecha posterior. Sin embargo, la extensión de dicha noción de *capital* (monetizable) al conjunto de los recursos naturales y el medio ambiente planetario, genera serios problemas de valoración, al incluir tanto flujos, como stocks y «bienes fondo» muy diversos que, por definición, no habían sido producidos por el hombre y que, para colmo, se relacionan entre sí formando estructuras y sistemas muy complejos, con los que la especie humana está llamada a coevolucionar. Por ello, este autor, galardonado con el premio Nobel en 1987, advertía que para traducir con éxito la idea de *sostenibilidad* al universo de la economía estándar hace falta «valorar el stock de capital (incluyendo el «capital natural») con unos precios sombra adecuados» que deben ser asumidos por la colectividad. Siendo clave el establecimiento de una conciencia social

y de un marco institucional que hagan operativa la revalorización y el mantenimiento de ese patrimonio.

Haciendo abstracción, por el momento, de hasta qué punto resulta razonable, útil y viable valorar todo ese «capital natural», cabe preguntarse ¿cuales han de ser los «precios sombra adecuados» que cabe atribuirle? Desde luego no los derivados de imputaciones más o menos apoyadas en la «disposición a pagar» de algunas personas: esto puede informar más sobre un *status quo* a modificar que sobre esos «precios sombra adecuados». Pensamos que tales precios «adecuados» no pueden surgir ni de razonamientos teóricos meramente monetarios, ni de las opiniones de una población desinformada. Para bien diseñar los instrumentos económicos que inciden sobre la valoración es requisito previo desbrozar el contenido de ese «capital natural». Nos encontramos aquí con una laguna teórica importante que hemos tratado de suplir en parte en el reciente trabajo que la presente ponencia trata de divulgar.<sup>32</sup> Esta laguna viene dada por la falta de orientaciones objetivas para ordenar con criterios económicos los elementos materiales y los sistemas que componen dicho «capital natural», con los que la especie humana ha de contar para construir sus elaboraciones e industrias. En los últimos tiempos esta laguna se está haciendo sentir con más fuerza, a medida que se extiende la idea defendida por autores como Daly, El Serafy y otros<sup>33</sup> de que la escasez de «capital natural» está llamada a erigirse en el factor más limitante de la vida económica, cuya malversación se sugiere evitar, proponiendo incluso, como también hace Solow, invertir en «capital natural».<sup>34</sup>

<sup>31</sup> Solow, R. (1991), «Sustainability: An economist's perspective», en Dorfman, R. y N.S. Dorfman (eds.), *Economics of the environment*, 3<sup>ra</sup> ed. Nueva York.

<sup>32</sup> Nos referimos al trabajo ya citado: Naredo, J.M. y Valero, A. (Dir.). (1999), *Desarrollo económico y deterioro ecológico*. Madrid, Fundación Argentaria y Visor Distribuciones.

<sup>33</sup> Daly H. (1991), «Elements of Environmental Macroeconomics» y El Serafy, S. (1991), «The Environment as Capital», en Costanza, R. (ed.), *Ecological Economics: the science and management of sustainability*. Nueva York, Columbia University Press.

<sup>34</sup> Asimismo, «Invertir en capital natural» (Investing in Natural Capital. The Ecological Economics Approach to Sustainability) fue la divisa de la Conferencia de la International Society for Ecological Economics, celebrada en 1992 en Estocolmo.



El problema estriba en que, si bien el cálculo del coste físico y monetario de los bienes de capital producidos por el hombre puede realizarse por procedimientos generalmente aceptados, no ocurre lo mismo para el «capital natural». Por lo que el cálculo habitual de los costes físicos y monetarios en los que incurre el proceso económico suele permanecer incompleto, al apoyarse dicho proceso doblemente en ese «capital natural», que no entra en línea de cuenta, tomando de él los recursos y devolviéndole los residuos. De ahí que si no queremos que los buenos propósitos enunciados se sigan perdiendo en el muro de las lamentaciones, tendremos que apoyarlos en formulaciones teóricas solventes y operativas que permitan desbrozar el conglomerado de elementos y sistemas que se incluyen bajo la denominación de «capital natural», como primer paso para arbitrar procedimientos razonables que, con valoración o sin ella, influyan sobre el cálculo económico que guía la toma de decisiones.

Las críticas a la extensión de la denominación ordinaria de *capital* al conjunto de los recursos naturales y ambientales, insisten sobre todo en los dos aspectos ya mencionados que los diferencia de esa denominación y que dificultan o hacen extremadamente arbitrario su cálculo agregado en términos monetarios: primero, normalmente estos recursos no se identifican con valores monetarios, segundo, no suelen ser

reproducibles por la industria humana. De ahí que se estime escasamente operativo el afán de cifrar la *sostenibilidad* ecológica de los sistemas económicos en el requisito de que su «capital natural», medido en términos monetarios (deflactados), no disminuya. Ante la dificultad de calcular series homogéneas del agregado monetario de «capital natural», algunos autores<sup>35</sup> han señalado «la necesidad de aplicar un enfoque pragmático alternativo», basado en el seguimiento de los flujos físicos en los que se apoyan los sistemas económicos, como instrumento más operativo para apreciar si la marcha de tales sistemas se dirige o no hacia una mayor *sostenibilidad*. En el trabajo que acabamos de realizar, proponemos la aplicación de un enfoque complementario a ambos planteamientos: el de los flujos físicos y el del capital natural. El enfoque propuesto permite calcular, a partir de un estado de referencia, el coste físico de reposición de los recursos minerales de la corteza terrestre, acercando así por vez primera el tratamiento económico de esta categoría de recursos a la del capital reproducible.<sup>36</sup> De esta manera creemos estar en disposición de proponer, para el «capital mineral», si no unos «precios sombra adecuados», sí al menos unos «costes sombra» razonables, cuya aceptación generalizada podría informar el establecimiento de un sistema de precios algo más adecuado que el actual.

El citado trabajo ofrece nuevos criterios para trascender un grave escollo con el que se topa el análisis económico en el campo de los recursos naturales: el que plantea el hecho de que el análisis económico ordinario valore los stocks de recursos que nos ofrece la naturaleza atendiendo a su coste monetario de extracción (y manejo) y no al que exigiría su reposición. Con lo que se ha primado sistemáticamente la extracción frente a la recuperación y reciclaje (donde los costes de reposición se han de sufragar íntegramente). Este proceder acentúa tanto los problemas de escasez de recursos como los de exceso de residuos, a medida que el modelo de comportamiento propio de la civilización industrial se extiende y distancia cada vez más de aquel otro de la *biosfera*, que se caracteriza por cerrar los ciclos de materiales convirtiendo, con la ayuda de la energía solar, los residuos en recursos. De esta manera, calcular en toda su globalidad los costes físicos (es decir, incluyendo el coste de reposición de los recursos

<sup>35</sup> Hinterberger, F., Luks, F. y Schmidt-Bleek, F. (1997), «Material flows vs. 'natural capital'. What makes an economy sustainable?», *Ecological Economics*, nº 23, pp. 1-14. En el mismo sentido véase Naredo, J.M. y Rueda, S. (1996), «Marco general de desarrollo sostenible aplicado a casos de buenas prácticas en medio urbano», Primer catálogo español de buenas prácticas, MOPTMA, Vol. 1 (Documento presentado por la delegación española en la Conferencia de Naciones Unidas sobre Asentamientos Humanos (HABITAT, II), Estambul, junio de 1996).

<sup>36</sup> Algo parecido es lo que plantea Hector Sejenóvich para los recursos renovables: estimar cuanto costaría reponer o reproducir los nutrientes, el suelo erosionado, etc. (Sejenóvich, H. (1996) Manual de cuentas patrimoniales, México, PNUMA y Fundación Bariloche, 234 pp.) Pero el tratamiento de los recursos bióticos escapa a la metodología que más adelante se propone: ésta, insistimos, se orienta al tratamiento del «capital mineral» de la Tierra y no de los otros elementos o sistemas que engloban el llamado «capital natural», ni de los deterioros adicionales que ocasiona su extracción o uso.

naturales) en los que incurren los procesos «productivos»<sup>37</sup> propios de la civilización industrial, parece un paso obligado para enjuiciarlos económicamente y para manejar, con conocimiento de causa, los instrumentos que inciden sobre la valoración, a fin de reorientarlos hacia una mayor *sostenibilidad* global. Siendo la estimación del coste físico de reposición de los recursos minerales el primer paso para hacer que la analogía entre el «capital natural» y el fabricado por el hombre sea algo más que una metáfora vacía de contenido concreto. La segunda parte del trabajo de referencia aborda los desarrollos teóricos necesarios para posibilitar ese cálculo. Desarrollos que derivan los enfoques termodinámicos habitualmente centrados sobre temas «energéticos» hacia el campo menos transitado de la termodinámica química, haciendo operativa su aplicación al mundo de los materiales.

### METODOLOGÍA DE CÁLCULO DEL COSTE FÍSICO DE REPOSICIÓN DEL CAPITAL MINERAL DE LA TIERRA. PRIMEROS RESULTADOS PARCIALES

#### Planteamiento general

A la vista de lo anteriormente expuesto podemos decir que la civilización industrial se ha caracterizado, y se sigue caracterizando, por utilizar masivamente como materias primas determinadas sustancias disponibles en la corteza terrestre en condiciones muy particulares de concentración, estructura y tonelaje. Los yacimientos minerales en explotación pueden considerarse, así, como rarezas de la corteza terrestre. Ya que cuentan con unas leyes de contenido en las sustancias deseadas y un nivel de estructura muy superiores a la media de la corteza terrestre, que la naturaleza se había encargado espontáneamente de configurar. Una vez utilizados estos recursos suelen acabar dispersándose y originando los problemas de contaminación de todos conocidos, habida cuenta que, como se ha indicado, las prácticas habituales de cálculo que orientan la gestión económica no acostumbran a favorecer la recuperación y el reciclaje. Y al tomar estos recursos como un don gratuito de la naturaleza se incentiva su extracción, no

sólo frente a la recuperación y el reciclaje, sino también frente a otros posibles sustitutivos renovables fruto de la industria humana, que habría que producir y también facturar (por ejemplo, se incentiva, no sólo la sustitución de la mula por el tractor, sino el uso del petróleo extraído, frente al etanol obtenido de forma renovable a partir de la biomasa).

Habida cuenta que el proceder indicado está empujando al planeta Tierra hacia situaciones de creciente deterioro,<sup>38</sup> la metodología que más adelante se expone permite ordenar los minerales de la corteza terrestre atendiendo al coste físico que supondría obtenerlos a partir de los materiales que contendría la Tierra si hubiera alcanzado ya el máximo nivel de deterioro hacia el que la estamos empujando (es decir, si los actuales yacimientos de rocas y minerales se hubieran mezclado y reaccionado con el resto de los componentes hasta formar una «sopa entrópica» en equilibrio químico). Expresando en unidades de energía el coste físico de obtener a partir de esa «sopa entrópica» los minerales hoy disponibles, podríamos llegar a calcular la potencia (*stock*) contenida en los minerales que componen la corteza terrestre actual, que la especie humana puede explotar y dispersar con mayor o menor celeridad, por contraposición al *flujo* de energía emitido por el sol y sus derivados renovables. Lo cual presenta en términos claramente cuantitativos el conflicto fáustico que plantea la elección entre eficacia parcial y sostenibilidad global en nuestra sociedad, o entre apoyar la economía sobre el deterioro de los *stocks* de recursos que nos brinda la naturaleza o recurrir al *flujo* solar para hacer un uso reciclado y mejorante de los mismos. Se ha venido optando hasta ahora por el lo-

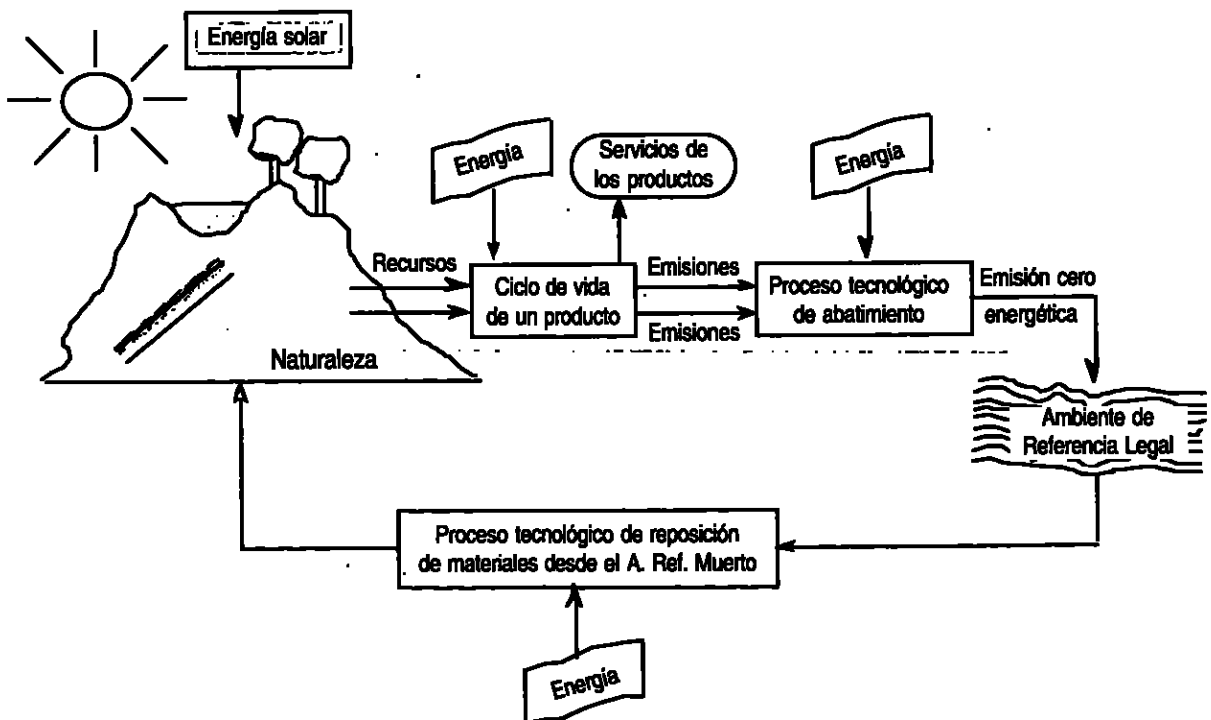
<sup>37</sup> Ponemos productivo entre comillas para resaltar la paradoja que plantea el hecho de que la ciencia económica adoptó el término producción cuando la actividad económica empezó a apoyarse básicamente en la simple extracción, manejo y deterioro de los stocks minerales de la corteza terrestre, distanciándose ya de la producción derivada de la fotosíntesis.

<sup>38</sup> Directamente, por dispersión del «capital mineral» y contaminación del ambiente, e indirectamente, al posibilitar las cada vez mayores extracciones de la fotosíntesis y el transporte horizontal masivo de materiales y, con ello, el movimiento de tierras ocasionado por la construcción de edificios e infraestructuras, la erosión y contaminación de suelos y aguas, la pérdida de diversidad biológica, etc.

gro de una eficacia puntual e inmediata obtenida a base de «echar a la caldera» determinados *stocks* de recursos sin reparar en la *insostenibilidad* global que tal proceder plantea. Hemos de aclarar aquí una confusión bastante extendida sobre el tratamiento de los flujos de materiales ligados a la actividad económica. Es la confusión que se deriva de postular que los *stocks* de recursos no renovables no podrían utilizarse en absoluto si se adopta una interpretación estricta de la sostenibilidad. El funcionamiento de la *biosfera* desmiente esta idea, al mostrar que su estricta sostenibilidad se ha venido construyendo desde el principio sobre el uso del *stock* de materiales contenidos en la corteza terrestre. La clave de esta sostenibilidad estriba en que, con el apoyo de la energía solar,

se han podido cerrar los ciclos de materiales reconvirtiendo los residuos en recursos, cosa que no hace la sociedad industrial. Por lo tanto la sostenibilidad de un sistema económico debe enjuiciarse atendiendo, no tanto a la intensidad en el uso que hace de los *stocks* de recursos no renovables, como a su capacidad para cerrar los ciclos de materiales mediante la recuperación o el reciclaje, con ayuda de fuentes renovables. La metodología propuesta completa así los enfoques que analizan, «desde la cuna hasta la tumba» el «ciclo de vida» de los productos, al razonar también «desde la cuna hasta la cuna», es decir, sobre la posibilidad y el coste de cerrar por completo el ciclo de materiales reponiendo los recursos naturales utilizados (Gráfico 4).

Gráfico 4.- Esquemización del análisis del ciclo de vida incluyendo la reposición de los recursos naturales



### Definición del «ambiente de referencia»

El primer paso para acometer el cálculo del coste de reposición del capital mineral de la Tierra ha sido definir un *ambiente de referencia* (AR) a partir del cual plantearlo. La literatura disponible sobre la composición del estado de máxima entropía hacia el que tiende la Tierra resulta sorprendentemente escasa. Esta escasez contrasta no sólo con la reiterada preocupación por la evolución hacia el deterioro que sigue la Tierra, primero en la antigüedad, cuando se veía la Tierra como un gran organismo que envejecería y moriría como todos los otros; después cuando, hace ya más de un siglo, la formulación de la ley de la entropía hizo pensar en el horizonte de la «muerte térmica»; y más recientemente, con el renacimiento de las preocupaciones por el deterioro del «capital natural», ahora provocado por la civilización industrial. Pero parece que la fe en el Progreso ha eclipsado hasta el momento la reflexión científica en este campo tan directamente relacionado hoy con el comportamiento del *homo faber*, desviándolas hacia aspectos más parciales y cortos de miras, como el de la evolución del clima.

La Tierra es un sistema cerrado en materiales que, salvo pequeñas aportaciones de los meteoritos y pérdidas de hidrógeno y helio, no admite ni emite masa. Podemos imaginar, por tanto, un estado termodinámico (y, por supuesto, comercialmente) muerto de la Tierra en el que todos sus materiales hubieran reaccionado y se hubieran dispersado mezclándose hasta constituir una «sopa entrópica» de composición homogénea formada a partir de los elementos que hoy componen la corteza y la atmósfera terrestres a la presión y temperatura del ambiente. A partir de aquí, cualquier sustancia que esté más concentrada o más diluida, más caliente o más fría, con mayor o menor potencial químico, presión, altura, velocidad, etc. tendrá más energía utilizable, o *exergía*, que esa sopa entrópica. Por lo tanto podría calcularse, al menos teóricamente, la exergía que nos costaría obtener, a partir de ese estado termodinámico (y comercialmente) muerto, cualquier mineral explotado en los yacimientos actuales. De esta manera, sabríamos lo que nos ahorra la naturaleza al facilitarnos ya concentradas las sustancias en los yacimientos y lo que perdemos en la medida en la que después de utilizarlas se dispersan en el ambiente.

En principio el cálculo del ambiente de referencia (AR) mencionado debería buscar el equilibrio absoluto de todos los elementos de la corteza terrestre, al que éstos llegarían al reaccionar cediendo toda su exergía química. Algunos autores como Ahrendts<sup>39</sup> hicieron este cálculo. Ahora bien, el ambiente de referencia propuesto por Ahrendts es un estado muy alejado de la realidad y necesitaría de un período temporal muy dilatado para alcanzarse, por lo que no es muy apropiado si nuestros análisis se centran en los resultados de actividades que se producen en escalas temporales humanas.

Pero si abandonamos también el concepto de equilibrio interno para definir el estado termodinámico muerto hacia el que tiende la Tierra, estamos abandonando la unicidad y todo se convierte en materia opinable. Teóricamente al menos, habría tantas sopas entrópicas como autores. Y ello lleva a que la valoración de los recursos de la Tierra en unidades comunes de exergía, si algún día se lleva a cabo con este criterio, tendría que partir de un estado muerto acordado por convenio internacional. En cualquier caso sería menos controvertido que muchos acuerdos internacionales que se están tomando todos los días. Pensamos que no hay que abandonar el concepto de equilibrio, sino aplicarlo a un estado más próximo al actual que el sugerido por Ahrendts.

El estado de referencia que se propone en nuestro trabajo como «estado termodinámico (y comercialmente) muerto» se aproxima más al ambiente físico real, cumpliendo a la vez las siguientes propiedades:

- Aunque el ambiente de referencia no alcance totalmente el equilibrio interno, a escala humana las sustancias que lo componen han de ser altamente estables, abundantes y probables.
- Las sustancias que lo componen han de tener una dispersión máxima.
- Los procesos químicos y físicos que tienen lugar para alcanzar ese estado han de ser de una duración relativamente corta a escala humana.

<sup>39</sup> Ahrendts, J. (1980), «Reference States», *Energy*, Vol.5, pp.667-677.

Tomando como base estas circunstancias, Szargut (1986-89)<sup>40</sup> propuso una metodología para calcular el ambiente de referencia y, aunque no cerró el problema, lo acotó lo suficiente como para considerar ya hecho el trabajo metodológico principal. En nuestro trabajo se ha calculado la composición del AR siguiendo la metodología de este autor, aunque hubo que suplir sus imprecisiones y adaptarla más a nuestro propósito. De todos modos hemos de precisar que el problema de definir ese estado «termodinámicamente (y comercialmente) muerto» de la Tierra demandaría un esfuerzo de investigación muy superior al que le hemos podido aportar. Valga así nuestro esfuerzo para subrayar la viabilidad de este tipo de cálculos y su importancia como punto de referencia para situar correctamente el problema económico que plantea el reciclado de materiales y estimar la potencia que nos ofrece el capital mineral de la Tierra.

### El cálculo del coste exergético de reposición. Algunos resultados.

En primer lugar, se ha establecido y calculado, para los principales minerales metálicos, el coste termodinámico o exergía de cada mineral obtenido a partir del AR en procesos teóricos reversibles. En este cálculo teórico se han distinguido dos componentes: la exergía de concentración y la exergía de reacción (que considera el cambio de composición química desde el AR al mineral considerado). Estas dos magnitudes, juntas, dan lugar a la exergía química total del mineral.

Después se han realizado los cálculos en procesos reales (sujetos a irreversibilidad) distinguiendo también entre exergía de concentración y exergía de reacción. Se ha obtenido así la exergía total que habría sido necesaria aportar para, con la tecnología actual disponible, crear y concentrar los recursos minerales partiendo del AR definido con anterioridad. Este cálculo ofrece así el coste exergético de reposición del recurso con la tecnología disponible.

Puesto que tanto los procesos termodinámicos teóricos (reversibles) como los reales (sujetos a irreversibilidad) tienen

las mismas dos componentes (la de concentración y la de reacción), el *coste exergético de reposición* se calcula en ambos casos por adición del *coste exergético de concentración* y del *coste exergético de reacción*.

El coste exergético de reacción real, aunque más elevado que el mínimo valor fijado por la exergía teórica de reacción, se mueve en el mismo orden de magnitud que ésta. Pues, como bien se conoce, la oxidación del hierro, por ejemplo, es un proceso exotérmico en el que se libera energía. Si los procesos reales fueran reversibles, invirtiendo el valor de esa energía podríamos deshacer el proceso, esto es obtener hierro, a partir de su óxido. No es esto lo que ocurre en la realidad, el valor de la energía a invertir es superior a ese mínimo valor que fija la Termodinámica, pero, sin embargo, nuestra tecnología es tal, que ambos valores se mueven en el mismo orden de magnitud.

Esto no ocurre en los procesos de mezcla y separación, que es donde más se acusa la irreversibilidad de los procesos. Cuando se mezclan sal y azúcar en el agua, la energía que se libera en el proceso es prácticamente despreciable. Sin embargo, su separación es costosísima. De hecho, cuando esto ocurre en nuestra vida cotidiana, más vale tirar la mezcla, que esforzarnos en separarla. El orden de magnitud de la energía liberada al mezclar (exergía de concentración), y el de la energía real a invertir para la separación (coste exergético de concentración) son de un orden de magnitud bien distinto. A pesar de ello su tendencia es la misma.

El Cuadro 6 muestra la comparación entre la exergía teórica y la real necesaria para *concentrar* determinadas sustancias desde las leyes de concentración en las que puede encontrarse el mineral en las minas hasta alcanzar las leyes comerciales. Los datos se han tomado de procesos de concentración que tienen lugar en explotaciones mineras concretas. El parámetro K indica el ratio en el que el coste real multiplica al teórico. Nótese la gran dispersión que se observa en los valores de K entre las sustancias analizadas (que va desde 17 y 25 para el hierro, hasta 2.566 para el estaño). Ello indica la conveniencia de profundizar en la toma de datos sobre los costes físicos reales de concentración, que como vemos difieren notablemente del mínimo teórico que nos señala el cálculo termodinámico. En el mejor de los casos, para la media

<sup>40</sup> Szargut, J. Y Morris, D.R. (1986), «Standard Chemical Exergy of some elements and compounds on the planet Earth», Energy, Vol.11, pp.733-755.

## Cuantificando el capital natural

Cuadro 6

Cálculo del coste exergético teórico\* y real para concentrar ciertas sustancias desde la ley de minas hasta la ley comercial

Recurso	Ley mina (%)	Ley comercial (%)	Energía real KJ/kg	Exergía teórica KJ/kg	K
Cinc	5	50	7.418-9.130	87,3	85-105
Cobre	0,5	20	17.118-28.530	143,9	119-198
Estaño	0,05	60	380.020	148,1	2.566
Hierro	30,00	55	456-685	26,9	17-25
Plomo	3,00	65	9.130-11.412	36,8	248-310

\* En condiciones reversibles.

Fuente: *Ibidem*.

Cuadro 7

Coste exergético de concentración aportado por la naturaleza y por la industria para obtener una tonelada de metal a partir del ambiente de referencia.

Recurso	Ley del Ambiente de Referencia (%)	Ley mina (%)	Cost.Ex. real <sub>conc.</sub> aportado por la Naturaleza. (1) kep/t(metal)	Cost.Ex. real <sub>conc.</sub> aportado por la industria (2) kep/t(metal)	Cost. Ex. real. <sub>conc.</sub> total del metal (3)=(1)+(2) kep/t(metal)
Cinc	0,0072	5,0	504 - 620	406 - 500	910 - 1.120
Cobre	0,0055	0,5	499 - 832	634 - 1.389	1.133 - 2.221
Estaño	0,0002	0,05	7.059	11640	18.699
Hierro	5,5850	30,00	30 - 45	15 - 22	45 - 67
Plomo	0,0016	3,00	535 - 668	609 - 762	1.144 - 1.430
TOTAL			35 - 52	22 - 32	57 - 84

Fuente: *Ibidem*.

de las sustancias metálicas consideradas, la energía real necesaria para la concentración de la riqueza mineral de sus reservas es entre 21 y 52 veces superior a la calculada termodinámicamente. En el trabajo de referencia estimamos que si utilizáramos y dispersáramos la base actual de reservas de las cinco sustancias que figuran en el cuadro, haría falta para recuperarla, razonando con procesos termodinámicamente reversibles, una energía teórica equivalente a la del total del petróleo extraído en 1995. Vemos que trabajando con procesos reales haría falta muchas más veces esa cantidad. Por lo tanto, cabe concluir que el coste que nos ahorra la naturaleza al ofrecernos yacimientos con sustancias en condiciones muy

particulares de concentración y estructura, o, también, el coste futuro que ocasionará la actual extracción y dispersión de minerales de la corteza terrestre, distan mucho de ser despreciables. Profundizar en el análisis de estos costes es condición necesaria para poder hablar con conocimiento de causa de la *sostenibilidad* de la sociedad industrial o de las consecuencias que sobre las generaciones futuras ocasiona el deterioro del capital mineral de la tierra.

El Cuadro 7 ofrece algunos de los resultados más expresivos a los que es posible llegar con el aparato analítico desarrollado en el citado trabajo. Este cuadro desglosa el coste de concentración por tonelada de cada uno de los metales consi-

derados, desde el ambiente de referencia (AR), en aquella parte que nos ahorra la naturaleza (al ofrecernos estas sustancias ya concentradas en los yacimientos hasta alcanzar la ley de mina) y aquella que corre a cargo de los procesos industriales (hasta lograr la tonelada del metal correspondiente). Los resultados se ofrecen en kilos equivalentes de petróleo<sup>41</sup> (*kep*) por tonelada (*t*) de metal. Se observa así, por ejemplo, que por cada tonelada de estaño que se dispersa, harían faltar, como mínimo, siete toneladas de petróleo para concentrarla de nuevo al nivel en el que se encontraba en el yacimiento; algo más de media tonelada en el caso del cobre y del plomo, etc., etc. Podemos estimar así el porcentaje de la energía de concentración que nos ahorra la naturaleza, para cada una de las cinco sustancias, así como la media ponderada por las reservas estimadas de cada una de ellas: en este caso la naturaleza nos ahorra de media, como mínimo, el 62 por 100 de la exergía que tendríamos que gastar en concentrarlas hasta llegar a obtener el metal. Evidentemente, en la medida en la que se extraigan y dispersen las sustancias contenidas en los yacimientos con mejores leyes, la industria humana tendrá que suplir cada vez más la función concentradora de la naturaleza, ganando peso el coste de los procesos industriales (recogido en la columna 2) frente al aportado por la naturaleza (columna 1).<sup>42</sup> El manejo de informaciones como éstas se re-

vela esencial si queremos cambiar la mentalidad meramente extractiva de nuestra civilización, por otra que piense en cerrar los ciclos de materiales, reconvirtiendo los residuos en recursos, paliando así el deterioro al que nuestra civilización somete diariamente nuestro patrimonio natural.

Se podría proceder de manera semejante para calcular el *coste exergético de reacción*, y así obtener finalmente el *coste exergético total de reposición*. Para una correcta obtención del *coste exergético de reposición* será necesario disponer de datos energéticos reales concernientes a los procesos industriales químicos, metalúrgicos y de separación, que se manejan en los de Análisis de Ciclo de Vida.

### El cálculo de la potencia del capital mineral de la Tierra

Recurriendo a la metodología que acabamos de aplicar a los minerales contenidos en yacimientos con leyes comerciales, podríamos extender el cálculo del coste exergético de concentración al conjunto de los recursos minerales contenidos en la corteza terrestre. Para ello habría que definir la forma en la que se distribuye actualmente el stock de cada sustancia en la corteza terrestre, relacionando las leyes de concentración y el tonelaje en los minerales que la contienen. La experiencia indica que la relación entre la ley (que podemos representar en el eje de ordenadas) y el tonelaje (en el de abcisas) adopta la expresión geométrica de funciones con pendiente negativa y, generalmente, de exponenciales convexas hacia el origen de coordenadas, en las que la pendiente varía atendiendo a la situación peculiar de cada sustancia concreta. El hierro ejemplificaría el caso de sustancias muy abundantes y bien distribuidas, apareciendo buena parte del tonelaje con leyes próximas a la que señala su presencia media en la corteza terrestre. Sin embargo, en sustancias más raras y peor distribuidas, como el mercurio, el oro,... o el petróleo, el tonelaje se concentrará más en ciertos yacimientos. Escapa a las posibilidades del trabajo de referencia apoyar con información empírica la construcción de este tipo de curvas: modelizar la relación entre leyes y tonelaje para las principales sustancias de la corteza terrestre, que están siendo objeto de explotación, constituye así una tarea pendiente para completar la

<sup>41</sup> Hemos elegido el petróleo para expresar este coste energético, porque los logros extractivos y movilizadores de la civilización industrial se asientan, en su mayor parte, en usar la exergía del petróleo y otros combustibles fósiles sin preocuparse de reponerla. Por ello, el trabajo de referencia ofrece un apéndice sobre las posibilidades técnicas de reponer el petróleo una vez quemado.

<sup>42</sup> Evidentemente esta relación se ve alterada también por la evolución de la técnica a lo largo del tiempo. La aplicación de procesos más eficientes permite reducir el coste de concentración, por contraposición al descenso de la ley de los minerales en explotación, que tiende a aumentar, tal y como ha analizado Matthias Ruth para algunas sustancias: Ruth, M. (1995), *Ecological Economics*, núm. 15, pp. 197-213. No obstante, las mejoras tecnológicas nunca podrán llegar a situar los costes reales por debajo de los costes teóricos calculados para sistemas reversibles, que señalan así el mínimo teórico de todos los posibles costes, siempre positivo en virtud del Segundo Principio de la Termodinámica.

aplicación de la metodología propuesta. Esta tarea es importante para romper el actual vacío que se observa entre la investigación geológica y la minera, que dificulta la modelización y clasificación de los yacimientos por escalones de coste físico y monetario de extracción. No obstante ya se han dado los primeros pasos: una metodología de este tipo ha sido ya diseñada y aplicada a los yacimientos de estaño y wolframio de la corteza terrestre, mostrando la viabilidad de este enfoque.<sup>43</sup> Una vez modelizada la presencia de las sustancias en la corteza terrestre, podríamos aplicarles la metodología antes expuesta de cálculo del coste físico de reposición de dichas sustancias y, mediante agregación, cuantificar en unidades energéticas el coste físico que nos ahorra su extracción, al evitar tener que concentrarlas.

La metodología propuesta permite dar un salto cualitativo en los análisis que, desde el ángulo de la sostenibilidad global, se han venido aplicando al uso del «capital mineral» de la Tierra en la sociedad actual, deshaciendo algunos de los equívocos más comunes derivados de los enfoques parcelarios. Ya no se trata de discutir si las reservas de minerales en explotación se «agotarán» o no en tal fecha si prosiguen determinados ritmos de extracción, sino de integrar el análisis micro de yacimientos y minerales concretos, en el nivel de máxima agregación, el del conjunto de la corteza terrestre actual y el de su estado de máximo deterioro (el AR antes definido) hacia el que ésta tiende. Así, lo que se «agota» no son las sustancias de los minerales que se extraen de los yacimientos, sino la exergía de concentración y de reacción con la que se presentan tales sustancias en esos minerales. En suma, esta metodología permitiría responder, al fin con datos en la mano, a la preocupación formulada por Platón hace milenios sobre lo que *nos va quedando de la Tierra*, al menos en lo que concierne a su «capital mineral». Cuantificar en términos de coste físico la reposición de este capital es el primer paso para que se pueda racionalizar su gestión y para cuantificar los *costes sociales*<sup>44</sup> derivados del uso privado que se está haciendo del mismo.

## HACIA UNA ECONOMÍA ABIERTA Y TRANSDISCIPLINAR

La metodología antes expuesta responde a la preocupación enunciada por Georgescu-Roegen cuando señaló que las limitaciones o escaseces propias de nuestro entorno físico estaban llamadas a aflorar con más fuerza por el lado de los materiales que por el de la energía, habida cuenta los stocks limitados de aquellos contenidos en la Tierra, frente al *flujo* continuado de ésta que nos envía diariamente el Sol, a lo que se añade además el hecho de resultar mucho más fácil convertir materiales en energía que energía en materiales. Esta preocupación le hizo formular la por él denominada «cuarta ley de la termodinámica», que extendía la segunda, es decir, la *ley de la entropía*, al campo de los materiales,<sup>45</sup> con ánimo de cerrar la puerta por la que el razonamiento de algunos economistas escapaba al dominio de esta ley para «librar» al proceso económico «de las limitaciones cuantitativas impuestas por el carácter de la corteza terrestre...».<sup>46</sup> Incluso un eco-

<sup>43</sup> Ortiz, A. (1993) «Recursos no renovables. Reservas, extracción, sustitución y recuperación de minerales», en Naredo, J.M. y Parra, F. *Hacia una ciencia de los recursos naturales*, Madrid, Siglo XXI, pp.121-173. En este trabajo se han modelizado los yacimientos de estaño y de wolframio de la corteza terrestre y obtenido sus curvas de distribución, que siguen la forma general antes indicada.

<sup>44</sup> Utilizo este término en el sentido en el que pioneramente lo empleó William Kapp: Kapp, W (1950) *The social costs of private enterprise*, Cambridge, Mass, Harvard University Press (hay traducción al español en Barcelona, Oikos, 1966).

<sup>45</sup> Vid. Georgescu-Roegen, N. (1977), «Matter matters, too», en Wilson, K.D., ed., *Prospects for growth: Changing expectations for the future*, Nueva York, Praeger, pp. 293-313; (1980), «Matter: a resource ignored by thermodynamics», en St.Pierre, L.E. y G.R.Brown (eds.), *Future sources of organic raw materials*, Oxford, Pergamon Press, pp.79-87; y (1982), «La dégradation entropique et la destinée prométhéenne de la technologie humaine», en *Entropie*, nº extraordinario sobre «Thermodynamique et sciences de l'homme», pp.76-86 (texto reeditado en Georgescu-Roegen, N. (1995), *La décroissance*. Entropie, Écologie, Économie, Grinevald, J. e Ivo Rens eds., Paris, La Sang de la Terre).

<sup>46</sup> Barnett, H. y Ch. Morse (1963), *Scarcity and growth*, Baltimore, Johns Hopkins Press, p.11. Georgescu-Roegen se refiere a estos y otros autores en su irónico y documentado texto «Energy and economic myths» (1972), recogido en Georgescu-Roegen, N. (1976), *Energy and economic myths*. Institutional and analytical economic essays, Nueva York, Pergamon Press, pp.3-36 (hay traducción en español en *El trimestre económico*, octubre-diciembre, 1975).



nomista tan sensible a los problemas ecológicos como Kenneth Boulding expresó la creencia de que «afortunadamente no hay ley del crecimiento de la entropía para los materiales»,<sup>47</sup> lo que da pie a afirmar que «la idea de un posible agotamiento de la materia es ridícula. El planeta entero está compuesto de minerales». <sup>48</sup> Se subraya, así, la existencia del primer principio, el de conservación, a la vez que se soslaya la vigencia en este campo del segundo, el de la entropía, del que precisamente se derivan los problemas de escasez en el mundo físico, para confundir las existencias de materiales en general, con las existencias de materiales utilizables. Los desarrollos metodológicos que acabamos de exponer aclaran contundentemente estos extremos, al aplicar la mencionada ley de la entropía al campo de los materiales sin necesidad de recurrir a la «cuarta ley» formulada por Georgescu-Roegen, que se revela así como una consecuencia de la segunda, tal y como habíamos sugerido ya hace tiempo.<sup>49</sup> La metodología y los primeros resultados de su aplicación anteriormente expuestos, avanzan en la línea de investigación indicada, sentando bases objetivas para enjuiciar los distintos procesos y consensuar su posible reconversión, apoyando con este fin sobre ellas, tanto medios económico-institucionales capaces de modificar los resultados monetarios de los procesos, como informaciones sobre sus implicaciones físicas capaces de alterar las preferencias y el comportamiento de la población.

En otras palabras, el propósito de este trabajo aquí presentado no es hacer ensayos de valoración monetaria del «ca-

pital natural» de la Tierra, sino ofrecer puntos de apoyo físicos para posibilitar un manejo solvente de los instrumentos económicos que inciden sobre dicha valoración. Lo cual, lejos de ser ajeno a la valoración misma, le otorga nuevas posibilidades al ligarla de modo instrumental a otros análisis económicos del mundo físico objeto de valoración, realizados a partir del aparato conceptual de las ciencias de la naturaleza. El análisis conjunto de la información sobre los costes físicos de reposición de las sustancias minerales que componen ese «capital natural», así como de la evolución del coste físico y la valoración monetaria en los procesos de producción (advirtiendo la «mochila» de deterioro ecológico que arrastra cada producto) es condición *sine qua non* para modificar las tendencias actuales y los modos de valoración y de gestión que las sostienen.

Desde esta perspectiva la valoración cobra una dimensión dinámica e instrumental: cambiar el *statu quo* económico que apunta hacia el deterioro ecológico, presupone modificar las bases sobre las que se practica la valoración actual, reorientando con nuevas informaciones y criterios el entramado mental y socioinstitucional que le había dado origen. Reconversión que no cabe esperar que surja del mero campo del valor económico, sino que necesita disponer de sólidos apoyos cuantitativos referentes al mundo físico, para establecer puentes entre la coherencia parcial y socialmente condicionada propia del cálculo económico ordinario que acostumbra a guiar la gestión y aquella otra más global y objetiva que, desde las ciencias de la naturaleza, nos informa sobre el entorno físico en el que dicha gestión se desenvuelve. Lo cual cobra especial importancia en el caso de ciertos componentes de ese «capital natural» que, al no haber sido producidos para ser vendidos y utilizados, y al tratarse de *stocks* de recursos y no de *flujos* de «productos», no cabe esperar que el mero juego de la oferta y la demanda vaya a resolver por sí mismo los problemas que su gestión plantea.

Tras exponer la metodología propuesta para calcular los costes de reposición de las sustancias minerales contenidas en la corteza terrestre e ilustrar con resultados su aplicación a algunas de ellas, el trabajo de referencia continúa analizando la evolución conjunta de los costes físicos y de la valoración monetaria que se opera a lo largo del proceso económico y abstraendo las reglas que rigen dicho comportamiento conjunto.

<sup>47</sup> Boulding, K. (1966). «The economics of the coming spaceship earth», en *Environmental quality in a growing economy*, Baltimore, John Hopkins Press, pp.3-19, *rel. Georgescu-Roegen en Ibidem*. (Hay edición en español del texto de Boulding antes citado en Daly, H., comp. (1989), *Economía, ecología, ética*, México, F.C.E., pp. 262-275).

<sup>48</sup> Brooks, D.B. y P.W. Andrews (1974), «Mineral resources, economic growth, and the world population», en *Science*, nº 185 de julio 1974, pp. 13-19, *rel. Georgescu-Roegen en Ibidem*.

<sup>49</sup> Vid. Narado, J.M. (1987), *La economía en evolución. Historia y perspectivas de las categorías básicas del pensamiento económico*, Madrid, Siglo XXI, 2ª edición de 1986, Cap. 26.V.- «Perspectivas que se abren ante la crisis de la noción de materia». Apartado sobre «Los excesos del energetismo y la cuarta ley de la termodinámica de Georgescu-Roegen», pp. 478-482.

## Cuantificando el capital natural

Para lo cual se aplica un enfoque pluridimensional o multicriterial que acepta que un mismo proceso económico puede ser objeto de lecturas diferentes, realizadas a partir de enfoques diferentes, sujetos a axiomáticas diferentes, que trabajan con magnitudes diferentes, y que, por lo tanto, acaban arrojando no sólo resultados numéricos diferentes, sino que se expresan en unidades distintas e irreducibles entre sí (aunque se pueda, e incluso interese, analizar su evolución conjunta a lo largo de los procesos).

El presente trabajo clarifica estos extremos, relacionando las preocupaciones y enfoques de la economía ordinaria del valor, con los de esa «economía de la física» que es la termodinámica. Clarificación que resulta esencial para superar el confusionismo que impregna al razonamiento económico en este campo, inhabilitándolo para abordar seriamente la antinomia entre *desarrollo económico* y *deterioro ecológico*, como bien testimonian algunas de las afirmaciones anteriormente referenciadas. Cuestiones tan básicas como la de si es lícito que una economía *sostenible* utilice recursos no renovables, si la ley de la entropía rige o no para los materiales, o si es o no necesario formular una nueva ley de la termodinámica para extenderla a este campo, deben de ser respondidas con claridad y asumidas con generalidad por las comunidades científicas preocupadas por utilizar su instrumental para enderezar los problemas ecológicos de nuestro tiempo. Por otra parte, conviene aclarar la importancia práctica inmediata de tales formulaciones. Porque, por ejemplo, preguntado sobre si, en su opinión, las transformaciones materiales que precisa la actividad económica se encuentran limitadas por la ley de la entropía, Solow respondió reconociendo que «no cabe duda que todo está sometido a la ley de la entropía, pero —precisando que— tal cosa no es de importancia práctica inmediata para modelizar lo que en último término es un breve instante de tiempo en una pequeña esquina del universo».<sup>50</sup>

El confusionismo enunciado en el párrafo anterior viene alentado por la pretensión de cerrar el razonamiento económico desde enfoques unidimensionales, ya sean éstos los que se circunscriben al universo de los valores pecuniarios, propio de la economía estándar, o los que se desenvuelven en el mundo de la energía, propio de la termodinámica. Estimamos que, para superar el confusionismo actual, hoy por hoy,

resulta más prioritario subrayar la especificidad de cada enfoque y las asimetrías y divergencias a las que puedan llevar sus análisis, que forzar compromisos tan poco esclarecedores y tan escasamente operativos como el de hacer *sostenible* el *desarrollo* y de definir y resolver esta meta en el mero campo de los valores monetarios a base de imputar alegremente precios al sin número de elementos y sistemas que integran el llamado «capital natural».

El confusionismo objeto de estos comentarios se deriva en buena parte de que todos hablan del sistema o del proceso económico, pero unos se aproximan a él desde el instrumental analítico del valor propio de la economía estándar, y otros lo hacen desde el punto de vista físico sintetizado por la termodinámica. Y es la pretensión más o menos velada que aflora entre los economistas de hacer que el enfoque de la economía estándar abarque por sí mismo toda la problemática de la gestión, la que explica su reticencia a admitir la existencia de otros enfoques que compiten con el suyo, interfiriendo, limitando o corrigiendo la pretendida universalidad de sus conclusiones. Sin esta pretensión resulta francamente difícil entender el empeño de autores como los antes citados de minimizar, e incluso negar, la importancia de la ley de la entropía sobre los procesos relacionados con la gestión económica, cuando se sabe que explica el devenir de los fenómenos del mundo físico en todos los rincones del universo. Sin tales presupuestos tampoco resultaría comprensible el hecho de que algunos economistas se encontraran en la obligación de introducir «la energía», o «los recursos naturales», en la función de producción agregada,<sup>51</sup> como repuesta a las críticas que relativizaban el valor explicativo de sus enfoques al dejar fuera aspectos tan importantes: es el afán de seguir manteniendo intacto el monopolio explicativo de sus enfoques el

<sup>50</sup> Cfr. Daly, H. (1997), «¿Cuanto tiempo seguirán los economistas neoclásicos ignorando las aportaciones de Georgescu-Roegen?». Ponencia presentada a la Jornada sobre Economía y ciencias de la naturaleza, Madrid, Fundación Argentaria, 19 de noviembre, pp. 1-15 (este texto retoma y amplía el artículo de Daly que figura en el dossier sobre Georgescu-Roegen que publicó en ese mismo año la revista *Ecological Economics*).

<sup>51</sup> Vid. referencias en *ibidem*.

que, probablemente, les indujo a completarlos de esta manera a costa de empañar la coherencia de los mismos. Porque resulta bastante problemático llevar el razonamiento sobre estos aspectos «externos» al edificio conceptual de la economía estándar, sin modificar la axiomática que lo informa. Es normal que cuando surgen problemas difíciles de encajar en una estructura conceptual, se generen situaciones de transición fértiles en ambigüedades y compromisos poco esclarecedores. Así ocurrió cuando el sistema ecléctico de Tycho Brahe, que postulaba que los planetas giraban alrededor del Sol, pero que éste lo hacía alrededor de la Tierra, sustituyó durante largas décadas al de Ptolomeo, abriendo camino hacia la aceptación de la nueva cosmología de Copérnico, Kepler y Galileo, hoy también relativizada. En el caso que nos ocupa, lo que está en discusión es si, para resolver las nuevas preocupaciones «ambientales», el razonamiento económico ha de seguir girando en torno al núcleo de los valores mercantiles o si, por el contrario, debe desplazar su centro de reflexión hacia los condicionantes del universo físico e institucional que lo envuelven (que son analizados por disciplinas que trabajan desde presupuestos diferentes). Se trata de reconocer que, en esa encrucijada de saberes que plantea la gestión, no hay un único e inmutable *sistema* de razonamiento capaz de explicarlo todo, sino una encrucijada de *sistemas*. Lo cual exige desplazar el razonamiento económico desde *el sistema* que se adjetiva como tal, hacia una *economía de sistemas*.

Una vez roto, en el propio campo de la física, el monopolio del conocimiento que en su día ejerció *el sistema del mundo* ideado por Newton, no tiene sentido imaginar a los practicantes de la mecánica clásica tratando de ingeniárselas para hacer que su sistema siga siendo la única guía adecuada del conocimiento para investigar tanto los espacios siderales, como los ultramicroscópicos, o las situaciones de irreversibilidad, de discontinuidad, de no linealidad, de permanente desequilibrio, etc. característicos de la vida, sobre las que razonan otras ramas de la física a partir de axiomas diferentes. Y si la comunidad científica acepta ya de buen grado la posibilidad, y la conveniencia, de utilizar distintos sistemas de razonamiento para analizar el mismo mundo físico, más aún debería de aceptarse para el mundo de la gestión económica. Hoy no tiene sentido que los practicantes de la mecá-

nica clásica se sientan avergonzados por no tener en cuenta el segundo principio de la termodinámica y que traten, por ello, de quitarle la importancia que tiene para analizar los fenómenos de la vida cotidiana, o busquen ingenuamente el modo de incorporarlo dentro de un sistema que por definición lo excluye. Como tampoco lo tendría que los economistas se avergonzaran de que sus razonamientos sobre el valor no tienen en cuenta este principio, si su disciplina hubiera alcanzado un grado de madurez comparable al de la física. Antes al contrario deberían de subrayar lo que de diferencial tienen sus análisis: recaen sobre la revalorización que acompaña de los cambios cualitativos con finalidad utilitaria que constituyen la razón de ser de los procesos llamados de producción, cambios que la termodinámica es incapaz de apreciar, sin que sus cultivadores tengan, tampoco, que avergonzarse de ello. Cuando, a su vez, la termodinámica se ocupa de registrar directamente las pérdidas o costes físicos de los procesos que la economía estándar solo puede apreciar parcial e indirectamente, en tanto que sean objeto de valoración monetaria. Concluyendo, las reflexiones sobre el valor de cambio de la economía estándar y las del coste físico de la termodinámica, no son sustitutivas, sino complementarias: en nuestro trabajo se mantienen ambas, en paralelo, como dos lecturas de aspectos diferentes del proceso económico, que deben completar nuestro conocimiento del mismo y nuestra capacidad para reorientarlo en un sentido globalmente más económico, tal y como hemos apuntado anteriormente.

Las propuestas metodológicas y las elaboraciones teóricas contenidas en el trabajo de referencia, van acompañadas de aplicaciones a distintos niveles de agregación que ilustran el interés de los enfoques utilizados. Así, tras formular cómo la generación de valores «añadidos», característica de los procesos económicos, reposa sobre una profunda asimetría entre la evolución del coste físico y la valoración monetaria que se observa a lo largo de los mismos, esta formulación se ilustra con el análisis de varios procesos. Con lo cual la reflexión general se conecta con aquella otra que razona a nivel microeconómico sobre la «ecología industrial» y los «ecobalances» de las instalaciones y los procesos o sobre la «calidad total», el «ciclo de vida» y las «mochilas» (de deterioro) de los productos. El tratamiento conjunto de los flujos

físicos y sus valores monetarios también se extiende, como hemos indicado, al análisis del comercio internacional viendo cómo se proyecta sobre ellos la citada asimetría, con la consiguiente incidencia territorial. A la vez que los procesos de extracción y las primeras fases de elaboración se distancian cada vez más, geográficamente, de los principales centros utilizadores, acentuando los desequilibrios económico-territoriales de todos conocidos. Desequilibrios que se plasman tanto en el conflicto «Norte-Sur», como en el más general que se observa entre núcleos de acumulación de capitales y productos y áreas de extracción y vertido.

El tipo de elaboraciones que hemos presentado ofrecen un marco de información objetiva útil para revisar la actual

asimetría que se observa, a lo largo del proceso económico, entre los costes físicos de reposición de los recursos naturales y sus derivados y la valoración monetaria de que son objeto, así como los mecanismos que informan la generación y la distribución de la capacidad de compra sobre el mundo, que condiciona los procesos de valoración. Procesos que son a la vez fuente de deterioro ambiental y de desigualdad social, que se plasman en conflictos como los anteriormente mencionados. La discusión internacional de un marco como el indicado constituiría un sólido punto de apoyo para conseguir los cambios éticos e institucionales necesarios para inclinar los procesos de valoración y los criterios de gestión hacia la consecución de una sociedad más sostenible y solidaria.



### Desarrollo económico y deterioro ecológico

J. M. Narveto y A. Valero (eds.)

FUNDACIÓN  
ARGENTARIA

VISER  
1984-1985

Este libro aborda el análisis de la sociedad actual desde un enfoque económico más amplio del habitual con el fin de cuantificar no sólo los logros *monetarios* del «desarrollo económico», sino también los *costes físicos* sobre los que éste se apoya dando lugar al «deterioro ecológico». Tras precisar y contextualizar la orientación metodológica de la investigación, se empieza por estudiar el metabolismo de la sociedad industrial, constatando que reposa básicamente en la extracción de rocas y minerales de la corteza terrestre. Se propone después una metodología que permite cifrar el coste de reposición del «capital mineral» de la Tierra y plantear, así, en términos meridianamente cuantitativos, el conflicto entre eficacia parcial y sostenibilidad global propio de la sociedad actual. También se estudia la asimetría que se observa entre el coste físico y la valoración monetaria a medida que avanza el proceso económico hasta las fases de comercialización y venta de los productos finales, que es a su vez fuente del deterioro ambiental y desigualdades sociales y territoriales. Por último, se analiza el papel que desempeña el comercio internacional y la globalización financiera en estos procesos.