Economía, ecología y sostenibilidad en la sociedad actual

José Manuel Naredo
Fernando Parra (Eds.)

Fundación
Universidad de Verano
de Castilla y León

SIGLO VEINTIUNO
DE ESPAÑA EDITORES

ECONOMÍA, ECOLOGÍA Y SOSTENIBILIDAD EN LA SOCIEDAD ACTUAL

siglo veintiuno de españa editores, sa
PRINCIPE DE VERGARA, 76. 28006 MADRID. ESPAÑA

siglo veintiuno editores, sa
CERRO DEL AGUA, 248. 04310 MÉXICO, D. F.

Todos los derechos reservados. Prohibida la reproducción total o parcial de esta obra por cualquier procedimiento (ya sea gráfico, electrónico, óptico, químico, mecánico, fotocopia, etc.) y el almacenamiento o transmisión de sus contenidos en soportes magnéticos, sonoros, visuales o de cualquier otro tipo sin permiso expreso del editor.

Primera edición, septiembre de 2000

© FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE VERANO DE CASTILLA Y LEÓN

© SIGLO XXI DE ESPAÑA EDITORES, S. A.
Príncipe de Vergara, 78. 28006 Madrid

© LOS AUTORES

DERECHOS RESERVADOS CONFORME A LA LEY

Impreso y hecho en España
Printed and made in Spain

Diseño de la cubierta: Juan José Barco y Sonia Alins

ISBN: 84-323-1044-1
Depósito Legal: VA. 695.–2000

Fotocomposición e impresión:
Gráficas Andrés Martín, S. L.
Paraíso, 8. 47003 Valladolid

José Manuel Naredo y Fernando Parra (Eds.)

ECONOMÍA, ECOLOGÍA Y SOSTENIBILIDAD EN LA SOCIEDAD ACTUAL

Fundación
Universidad de Verano
de Castilla y León

SIGLO VEINTIUNO
DE ESPAÑA EDITORES

ÍNDICE

Introducción
José Manuel Naredo y Fernando Parra 9

La naturaleza en el pensamiento económico
José Manuel Naredo 11

Hacia una economía abierta y transdisciplinar
René Passet 41

El marco ecológico para iluminar la sociedad actual
Ramón Margalef 51

El marco termodinámico para iluminar la sociedad actual
Antonio Valero 67

El papel de la especie humana en los cambios de la tierra.
Algunas reflexiones ecológico-históricas
Fernando Parra 97

Modelos e indicadores para ciudades más sostenibles
Salvador Rueda 115

Economía institucional aplicada a los recursos naturales
Federico Aguilera Klink 155

Cuantificación y toma de decisiones
Mariano Vázquez 175

El metabolismo de la sociedad industrial y su incidencia planetaria
José Manuel Naredo 193

INTRODUCCIÓN

Este libro es fruto del Curso sobre «Economía, Ecología y "sostenibilidad" en la sociedad actual» que se celebró en Segovia durante la última semana de julio de 1998, promovido por la Fundación Universidad de Verano de Castilla y León, siendo director de la misma Ángel García Sanz. El director del Curso, José Manuel Naredo, y el secretario, Fernando Parra, son ahora los editores de la presente publicación. Los textos que siguen resultan de las ponencias presentadas y, en ocasiones, posteriormente corregidas o ampliadas a la luz de las discusiones mantenidas durante la semana del Curso, alimentadas por la gratificante convivencia y los intercambios que se produjeron entre los ponentes y los asistentes.

Recordemos que el propósito del Curso se enunció de la siguiente manera: En los últimos tiempos preocupa cada vez más que la civilización industrial esté sometiendo a la Tierra a ritmos de explotación y deterioro que se revelan cada vez más «insostenibles». ¿Hasta qué punto ello es así? ¿Disponen las ciencias del «oikos» del aparato conceptual y estadístico adecuado para precisarlo? ¿Cómo influye o puede influir la ciencia en la toma de decisiones? ¿Se está reconvirtiendo la sociedad industrial hacia bases más «sostenibles»? o ¿Cuáles son los requisitos para que tal cosa ocurra?

El Curso trató de responder a preguntas como las arriba planteadas. Para lo cual, en una primera parte, se pasó revista a las posibles respuestas y reflexiones que surgen desde los marcos teóricos de la economía, la ecología y la termodinámica. Se trató también de la incidencia de la especie humana sobre la faz de la Tierra (y los mares), a través del complejo urbano-industrial y la ordenación del territorio. Se revisó lo que puede aportar la ciencia cuantitativa a la toma de decisiones y el tratamiento de los aspectos institucionales a la gestión económica. Finalmente se expuso una síntesis del metabolismo de la sociedad actual y su incidencia planetaria, abriendo la discusión a las posibles maneras de corregir dicho metabolismo hacia un horizonte social y ecológicamente más saludable. Los textos que a continuación se presentan se ordenan siguiendo la estructura del Curso que acabamos de enunciar, constituyendo un conjunto estructurado e inusualmente completo que esperamos sea del interés del público preocupado por los problemas ecológico-ambientales de nuestro tiempo, por sus raíces económicas y por su proyección social.

José Manuel Naredo y Fernando Parra

LA NATURALEZA EN EL PENSAMIENTO ECONÓMICO

JOSÉ MANUEL NAREDO
Universidad Complutense y Universidad Politécnica de Madrid

INTRODUCCIÓN

En ocasiones he oído a economistas vanagloriarse, de acuerdo con el sentir pragmático dominante, de que la economía es una ciencia oportunista habituada a adaptar su instrumental teórico para responder a las cuestiones que preocupan a la sociedad en cada momento. Y es que la economía, lo mismo que otras ciencias sociales, se encuentra mucho más supeditada al lenguaje y a las preocupaciones ordinarias que las ciencias de la naturaleza o que aquellas otras abstractas o especulativas. Pues como advirtió tempranamente Malthus en su ambicioso libro sobre las «Definiciones y las reglas que deben guiar el uso de los términos en economía política», «la primera y más importante de las reglas que deben orientar a los investigadores en el empleo de los términos (en las ciencias morales y políticas, donde éstos penetran en el lenguaje habitual en mayor medida que en las ciencias naturales) es que hay que aplicarse a definirlos de manera que conserven el sentido que se les atribuye en el lenguaje ordinario»[1].

Recordamos que el lenguaje corriente no se limita a aplicar las leyes de la lógica que relacionan en el campo formal de las abstracciones matemáticas premisas y conclusiones sin ambigüedad posible, sino que trasciende esas leyes para llenar de contenido su discurso, con intuiciones, sentimientos y creencias cuyas raíces penetran hasta el inconsciente, impregnándolo de metáforas y dobles sentidos expresivos de éstos, para descender en la poesía a las antípodas de ese «pensamiento dirigido» que es, al decir de Jung, la ciencia.

---

[1] Thomas Malthus, *Definitions in political economy, preceded by an inquiry into the rules which ought to guide political economists in the definition and use of their terms; with remarks on the deviation from these rules in their writings*, Londres, 1827, ref. a la primera edición francesa con notas y prólogo de Maurice Monjean, publicada en un mismo volumen con la traducción de sus *Principles of political economy*, con notas originales de J. B. Say, París, Guillaumin Libraires, 1846, pp. 412-414.

Advertir que las ciencias, en general, y muy particularmente las sociales, son tributarias del lenguaje corriente en las preguntas que se plantean y en el éxito o fracaso de sus elaboraciones, viene a ser lo mismo que reconocer que se comportan como icebergs cuya parte visible de racionalidad científica, reposa sobre un conglomerado de presupuestos «metacientíficos» que suele pasar inadvertido. Partiendo de este hecho hoy admitido por la generalidad de los historiadores y filósofos de la ciencia, pensamos que no está de más reflexionar un poco sobre las corrientes ocultas que mueven en su recorrido pragmático el quehacer de los economistas en un campo concreto: el relativo a su modo de preocuparse (o de despreocuparse) por los problemas que comporta la gestión del mundo físico circundante.

Acotado así el propósito de este texto, hay que advertir que el vehículo espontáneo que ha arrastrado el pensamiento de los economistas en el campo que nos ocupa, no ha sido otro que el de la idea misma que los hombres tienen de «naturaleza». En lo que sigue someteremos a reflexión esa idea analizando su cambiante evolución y apreciando su incidencia sobre la configuración del pensamiento económico, que alcanza desde esa «economía de la naturaleza» de la primera mitad de siglo XVIII, que dio vida a la noción hoy usual de sistema económico y al aparato conceptual que le concierne, hasta la «economía del medio ambiente» de finales de este siglo XX.

LA REACCIÓN «ANTINATURAL» DEL NUEVO ANTROPOCENTRISMO

Comencemos recordando que, antes del siglo XVII, ni la *economía* había tomado cuerpo como la rama del conocimiento específica que hoy es, ni *lo económico* se consideraba un dominio sujeto a leyes propias e independientes de la religión y la moral, como actualmente ocurre. La aparición del aparato conceptual y de los presupuestos que facilitaron este cambio aparecen envueltos en el desplazamiento general de las ideas que posibilitó el advenimiento del capitalismo y de la sociedad industrial. En mi libro *La economía en evolución*[2] repasé con cierto detalle este desplazamiento de ideas, destinando sendos apartados al proceso de «sacralización de la ciencia» (analizando cómo la renovada fe en los logros de esta última vino a sustituir a la antes depositada en las creencias religiosas), a la nueva «Ley del progreso» indefinido que se suponía guiaba los destinos de la humanidad (frente a la antigua creencia en evoluciones regresivas más o menos apocalípticas); a la extensión del «dogma mecanicista» (que suplantó a la antigua visión organicista del mundo)... y al «nuevo antropocentrismo», en el que nos detendremos por su particular incidencia la idea de Naturaleza que ahora nos ocupa. Pues en este proceso de desmantela-

[2] José Manuel Naredo, *La Economía en evolución. Historia y perspectivas de las categorías básicas del pensamiento económico*, Siglo XXI, Madrid, 1987 (1996, 2.ª Ed. corregida).

miento y sustitución de las viejas concepciones del mundo por otras desacralizadas, ocupó un lugar importante el triunfo de la visión mecanicista del mundo vinculada a los planteamientos de Copérnico y el consiguiente derribo del antropocentrismo de origen religioso apoyado en la concepción organicista del universo de las esferas, sintetizada por Ptolemeo. Cuando se aceptó que la Tierra no era más que un pequeño planeta situado en uno de los innumerables mundos solares, el hombre quedó también desplazado de la posición central en el universo que le confería el antiguo orden de ideas. La imagen desacralizada de ese nuevo universo infinito regido por la mecánica, resultaba mucho más sobrecogedora e inhóspita que la del viejo universo de las esferas, a la vez que el antiguo «rey de la creación» veía relegada su condición a la de un accidente cósmico sin importancia.

Lo que interesaba subrayar ahora es que la sensación de desamparo que originó la nueva cosmología, no orientó los desarrollos de la ciencia experimental a racionalizar las relaciones del hombre con su pequeño planeta, articulando su economía en una simbiosis estable con el medio. Antes al contrario, esa sensación indujo a cerrar cada vez más los ojos hacia las limitaciones de ese entorno, a la vez que alimentó una fe desmedida en los logros de la ciencia como fuente continua de progreso, para restaurar el antropocentrismo sobre estas bases. Ya no importaba la pequeñez de la Tierra y del hombre en ese universo infinito: con las poderosas armas derivadas de la razón, la ciencia, la técnica y el trabajo, el hombre podría construir su entorno a voluntad e incluso someter el universo entero a su servicio. Curiosamente la tendencia a ignorar el entorno físico-natural que se derivó de la implantación de la nueva cosmología, tuvo su reflejo en la literatura europea de la época[3] como lo acabó teniendo en la economía.

DESDE LA IMITACIÓN HACIA LA EXPLOTACIÓN DE LA NATURALEZA

La ciencia económica nació en este contexto, espoleada por el afán de acrecentar las riquezas y de disfrutar de los placeres terrenales, que se extendió tras el Renacimiento frente a la austeridad y la religiosidad medievales.

[3] «Lo que llama la atención en la literatura (occidental) del siglo XVII es la ausencia casi total del mundo natural, ya sea humanizado (el universo rural y campesino, tan esencial en una sociedad casi exclusivamente agraria) o no (el universo físico, geológico, vegetal o animal). Los personajes evolucionan en espacios restringidos, cerrados y a menudo, codificados... y cuando la naturaleza aparece representada lo es bajo una forma convencional e irrealista (es el caso del idilio pastoril). La naturaleza se reduce en estos casos a un decorado teatral que sirve de telón de fondo al diálogo de los personajes». (Pierre Auréan, «Nature et literature à l'age classique» en Jean-Cristophe Godard, *Nature*, Vrim & Integrale, París, 1990, p. 85). Esta ausencia, motivada por la imagen sórdida de la naturaleza antes mencionada, aparece corregida después por la visión más animada y alegre que de ella ofrecen las obras de Molière; por revalorización de la naturaleza y la añoranza de paraísos perdidos, presente en la obra literaria de Rousseau...; pero sobre todo por la reacción de la literatura romántica del siglo XIX, sobre la que volveremos más adelante.

Pero el aparato conceptual de esta ciencia se construyó todavía sobre jirones de antiguo orden de ideas, que implicaron su originaria vinculación a la Tierra y a la «economía de la naturaleza»[4].

En efecto, la noción de sistema económico como un todo ordenado y sujeto a leyes propias e independientes de la moral, surgió como parte integrante de la idea de un Orden Natural que se suponía tan sabiamente diseñado por el Creador, que el hombre debía respetar y tomar como modelo en sus proyectos para asegurar que los resultados no se volvieran en su contra. De ahí que no sólo las prácticas agrarias, arquitectónicas... o metalúrgicas conservaran todavía en esa época un sentido ritual tendente a emular el Orden Natural, sino que también las instituciones sociales buscaran su apoyo en la naturaleza dando pie incluso a la noción de Derecho Natural. Sin embargo, asistiremos después a un paulatino abandono de esa idea de tomar la naturaleza como patrón, en parte auspiciado por la desnaturalización de la naturaleza misma, que se derivó de llevar la aplicación de los esquemas interpretativos de la mecánica hasta los últimos rincones del mundo orgánico. Así, el Derecho Natural dejaría de apoyarse en la naturaleza en general para hacerlo sólo en la naturaleza humana y la ley pasaría de reglar los *deberes* que imponía la sujeción al supuesto Orden Natural para velar por los *derechos* humanos, observándose el desplazamiento desde un naturalismo jurídico hacia un *humanismo* jurídico más en consonancia con el antropocentrismo de nuevo cuño antes mencionado. La reciente Declaración de Barcelona de los Derechos Alimentarios del Hombre (7-3-1992) constituye el último eslabón en el desplazamiento comentado: en su artículo 1.° establece que «todo ser humano tiene derecho a una alimentación suficiente y saludable». De esta manera, conseguir una alimentación sana y abundante no es ya un *objetivo* a alcanzar colaborando juiciosamente con la naturaleza, sino un *derecho* humano frente a ésta. Sin embargo, como el hombre no puede menos que compartir la suerte de la naturaleza o el entorno, diríamos hoy, en los que se integra, el deterioro de este entorno ha motivado las preocupaciones recientes por «salvar la Tierra» que sólo pueden hacerse operativas mediante un nuevo pacto social por el que los hombres se impongan ciertos *deberes* para con la naturaleza.

La economía acusó también un prolongado proceso de alejamiento, enfrentamiento y divorcio de la naturaleza, para buscar en los últimos tiempos una cierta reconciliación que haga viable (o «sostenible») el futuro económico. Sin embargo, esta reconciliación exige revisar los modos que en su día originaron el divorcio, a fin de corregirlos ahora. En lo que sigue repasaremos los fundamentos de este proceso de ida y vuelta señalando el lugar ocu-

[4] Término empleado por Lineo y otros autores de la época por designar «la muy sabia disposición de los seres naturales, instituida por el Creador, según la cual éstos tienden a fines comunes y tienen funciones recíprocas», Vid. I. J. Bibierg, *Oeconomía naturae* (1744) en C. Linné, *L'équilibre de la Nature*, Reed. Vrin, París, 1972.

pado por la economía en el mapa del conocimiento científico y las relaciones de complementariedad o de conflicto con las ciencias de la naturaleza.

Pues bien, la consideración de lo económico como un sistema coherente, sujeto a leyes propias e independientes de la moral, se consolidó en el siglo XVIII con la obra de los economistas franceses de la época hoy denominados «fisiócratas» y con la obra de Adam Smith. Resaltemos los rasgos esenciales que definieron la inicial vinculación y el posterior divorcio de esta idea de sistema económico del entorno físico-territorial. Para ello hay que advertir que el desplazamiento en el objeto de estudio que acompañó a este divorcio se vio auspiciado por el conflicto originariamente observado entre las obligaciones que exigía el respeto al *orden natural* en su dimensión físico-territorial y el afán individual de enriquecerse lo antes posible, que se erigió en *ley natural* del comportamiento económico.

Antes del siglo XVIII no se había extendido todavía la noción actual de «producción» como centro de la ciencia económica. Nada se estimaba que era producido por el hombre: Dios, principio supremo del ser, se veía como el único capaz de producir, en el sentido de crear o de sacar algo de la nada. La idea de producción apareció originariamente vinculada a la capacidad generadora de la Madre Tierra como la matriz de ese cosmos orgánico autosuficiente, de ese «viviente perfecto» cuyas características recoge Platón en su *Timeo.* Así, predominaba la idea, también plasmada por Aristóteles en su *De animalibus,* de que «la Tierra concibe por el sol y de él queda preñada, dando a luz todos los años». Sólo cuando el advenimiento de la ciencia experimental respaldó la idea de que el hombre podía favorecer mediante prácticas desacralizadas apropiadas, aquellas producciones de la Madre-Tierra que fueran de utilidad para hombres, la naciente ciencia económica pudo hacer de ella el centro de su sistema. François Quasnay, el autor más representativo de los economistas franceses del siglo XVIII, fue quien presentó de forma acabada, en su famoso *Tableau oeconomique* (1758) la idea hoy usual de un sistema económico apoyado en las nociones de *producción* y *gasto,* así como de una ciencia de lo económico dirigida a acrecentar la producción de «riquezas renacientes» sin menoscabo de los «bienes fondo» entre los que la capacidad creativa de la Tierra ocupaba un lugar prioritario.

De acuerdo con la visión orgánica del mundo antes mencionada, esta noción de *producción* o *generación* física se aplicaba tanto al mundo vegetal y al animal, como al mineral. Así lo atestigua el hecho de que la minería aparezca entre las otras actividades productivas incluidas en la cabecera del *Tableau oeconomique* de Quesnay. Y es que debemos recordar que la idea de *sistema económico* se consolidó en ese siglo que va desde la publicación de los *Principios* (1687) de Newton, hasta el *Tratado elemental de Química* (1789) de Lavoisier, que señala el origen de la química moderna. Es decir, durante ese siglo en él se observa el pleno auge de la filosofía mecanicista, a la vez que permanecían todavía vigentes las creencias alquímicas. De esta manera, al igual que Richard Westfall demostró que el sistema newtoniano,

con su noción de *fuerza,* fue el fruto de un maridaje entre la filosofía mecánica y la alquimia, creo haber demostrado convincentemente[5] que el sistema económico, con su noción de *producción,* nació de un maridaje semejante.

La fe en una ley del *progreso indefinido* que hizo abstracción de los límites propios del globo terráqueo que la nueva cosmología había puesto en evidencia, no sólo se debió a la idea de que, pese a todo, éste era lo suficientemente grande y exuberante en recursos como para poder vivir al día sin preocuparse de sus límites. Sino también a la creencia en los procesos de generación y crecimiento que se atribuían a los tres reinos –animal, vegetal y mineral– y que se traducía lógicamente a escala agregada, en la creencia en la continua expansión de la superficie habitable del globo terráqueo. Valga como botón de muestra significativo el discurso de Linneo *Sobre el crecimiento de la tierra habitable*[6] en el que considerando globalmente «la máquina de este Universo que ha producido y creado la mano del Artista infinito», concluye que, a la luz de la experiencia y de la sana razón, «el examen ocular mismo, muestra que la Tierra aumenta cada año y que el Continente dilata sus límites». Observación ésta en línea con su participación en la creencia entonces generalizada en el crecimiento de los minerales presentes en sus trabajos que le dieron fama como padre de la botánica moderna.

La aparición de la agronomía como ciencia experimental ofreció un apoyo empírico a la idea de que el hombre podía acrecentar, recurriendo a ciertas prácticas de cultivo ya desacralizadas, la *producción* neta de materia con la que alimentar la vida humana. Y durante el siglo XVIII permaneció viva la esperanza de extender al reino mineral los logros de la agronomía: «lo mismo que hacemos el pan, podremos hacer los metales –afirmaba un autor de este siglo[7]– concertémonos pues con la naturaleza para la obra mineral tan bien como para la obra agrícola, y los tesoros se abrirán ante nosotros». Esta idea de *producción* en el sentido de generación o creación estrictamente física de «riquezas renacientes» fue la base sobre la que los autores franceses del siglo XVIII, elaboraron las categorías de la naciente ciencia económica. Cuando en esa época la economía se erigió en una rama específica del conocimiento, concibiéndose por primera vez el mundo de *lo económico* como un todo ordenado sujeto a ciertos automatismos que apuntaban al bien común, esa noción de *producción* fue la llamada a asegurar el movimiento continuo al carrusel mecanicista del *sistema económico.* Pues en estricta coherencia lógica la fe en las capacidades ilimitadas del hombre para modificar a voluntad los procesos de creación y perfeccionamiento de la materia, se revelaba como complemento indispensable de la creencia más general en un progreso indefinido basado en un crecimiento continuo de la población y las riquezas.

---

[5] J. M. Naredo, *La economía en evolución,* Siglo XXI, 1987 (Reed. 1996), pp. 7 y 8.

[6] Carl Linneo, *Oratio de Telluris habitabilis incremento,* Ley de 1744. (Hay traducción francesa incluida en C. Linné, *L'equilibre de la Nature,* ob. cit.).

[7] Cit. Mircea Eliade, *Forgerons et alchimistes,* Flamarion, París, 1977, p. 39.

Cuando los avances de la geodesia practicados durante el siglo XVIII pusieron en entredicho la creencia en el crecimiento de la Tierra, o cuando en el siglo XIX se eliminaron definitivamente las ideas alquímicas sobre el crecimiento de los minerales y el perfeccionamiento de los metales, los llamados economistas clásicos operaron una notable ruptura epistemológica en el campo de la ciencia económica que contribuyó a separarla de sus preocupaciones por el tratamiento del entorno físico-biológico-territorial en el que se había engendrado.

El desplazamiento en la idea de riqueza desde su diversidad inicial bajo el dominio de lo inmobiliario hacia su unificación en torno a lo pecuniario, como algo generalmente aceptado, es lo que permitió a los economistas del siglo XIX cortar el cordón umbilical que unía originariamente al mundo físico las nociones de producción y de riqueza, para encerrarlas con éxito en el mundo homogéneo y autosuficiente de los *valores de cambio.* Pues al circunscribir la *riqueza* objeto de estudio al campo de lo *apropiable, valorable* e *intercambiable,* no sólo se dejaban de lado aquellos recursos naturales que no eran objeto de comercio, sino que también se daba un trato indistinto a aquellos que sí lo eran, ignorando su capacidad de reproducción y su calidad física de *flujos* o *stocks.* La falacia de la sustitución sin fin hizo el resto, al justificarse que no tenía interés económico preocuparse de los recursos concretos, ya que la técnica siempre encontraría sustitutos que no hicieran lamentable su agotamiento o deterioro.

DESDE LA ECONOMÍA DE LA NATURALEZA HACIA LA ECONOMÍA DEL CAPITAL

La separación del universo de *lo económico* del mundo físico y biológico, constitutivo del territorio, se apoyó en el cambio en el papel atribuido a la Naturaleza en la génesis de la riqueza. El trabajo, que en principio apareció, como un modesto colaborador tendente a facilitar los procesos de generación propios de la Tierra-Madre, se acabó erigiendo en fuente suprema de valor. La Tierra perdió así, primero, todo significado trascendente, después, todo contenido cualitativo, para reducirse a la idea abstracta de espacio inmutable propio de la noción de Tierra ricardiana[8]. Pues reconociendo el carácter limitado e *improductible* de Tierra, había que considerarla también *inconsumible,* so pena de romper la simetría entre *producción* y *gasto* y deshacer la coherencia lógica que aseguraba la buena marcha del *sistema económico.* Y para considerarla *inconsumible* había que despojarla de todos los recursos concretos que la constituían –minerales, suelo fér-

[8] Cfr. David Ricardo, *Principles of Political Economy and Taxation,* London, 1817 (hay traducción en castellano en Aguilar).

til–, que eran obviamente *consumibles* o *destructibles.* Los recursos naturales constituyeron un tema incómodo para la ciencia económica así establecida, pues una vez descartadas las ideas alquímicas sobre su continua generación, su tratamiento no encajaba bien en el aparato conceptual desplegado por ésta y acababa siempre por evidenciar sus insuficiencias. Por una parte esto se obvió dejando fuera de su campo de estudio muchos de estos recursos que, al no ser *apropiables, valorables en dinero* e *intercambiables,* se consideraban ingenuamente *bienes libres.* Entre ellos se incluía originariamente la Tierra, cuando en las etapas de la era colonial no se había implantado todavía sobre ella la propiedad burguesa exclusiva[9]. Y aquellos otros recursos a los que se atribuía valor de cambio, se incluyeron de mala gana, ora dentro de la noción de Tierra, ora como rentas o existencias acumuladas, rompiendo en ambos casos la coherencia lógica de ese *sistema* pretendidamente autosuficiente de *lo económico.* Pues en el primer caso se rompía la hipótesis de indestructibilidad de la Tierra, evidenciando la incoherencia que suponía atribuirle un *flujo* indefinido de renta que en parte resultaba de la venta –y destrucción– de unos stocks[10]. En el segundo, la incoherencia aparece de entrada al construir directamente un flujo de renta –o «valor añadido»– que se supone renovable, sobre la apropiación de unos *stocks* físicos irreemplazables, o al tratar indistintamente –como hace Walras– las existencias renovables de ciertos bienes almacenados por el hombre, como el vino en la bodega o la leña en la leñera, y los depósitos de minerales en la corteza terrestre.

Con todo, aún reduciendo la Tierra a esa noción abstracta de espacio con ciertas propiedades inmutables se impuso obligadamente la noción de límite: las tierras emergidas del globo terrestre ocupan 149 millones de km^2 y buena parte de ellas no son aptas para alimentar y albergar a las comunidades humanas. Sabido es que esta consideración llevó a los economistas clásicos a señalar límites tanto al crecimiento de la población como al crecimiento del *sistema económico,* vaticinando como horizonte del mismo un *estado estacionario,* lo que en parte le valió por aquella época a la ciencia económica el remoquete de «ciencia lúgubre».

Sin embargo, las elaboraciones de los economistas neoclásicos dieron al traste con estas últimas y ya reducidas preocupaciones sobre los límites del entorno físico que podían frenar el movimiento de la máquina económica. A ello contribuyó la magnificación de un nuevo y más advenedizo factor de *producción* introducido anteriormente como un simple derivado de la *Tierra* y del *trabajo:* el *capital.* No importaba que las disponibilidades de *tierra* fueran limitadas, pues la *Tierra* se consideró *sustituible,* e incluso, productible

[9] Vid. D. Ricardo, op. cit.

[10] Algunos de los economistas más quisquillosos en el plano teórico criticarán la falacia que supone dar a la renta de las minas el mismo tratamiento que la renta de la Tierra ricardiana o aplicable la ley de los rendimientos decrecientes de la Tierra (véase, por ejemplo, Marshall en sus *Principios*).

por el *capital*[11]. La agronomía misma se fue alejando paulatinamente de esa «economía de la naturaleza» a la que tan vinculada estuvo en sus orígenes. La química agrícola, desarrollada por Liebig en el siglo XIX, permitió desplazar el centro de las experiencias desde el campo hacia los laboratorios y, con ello, suplantar el propósito de colaborar con el orden natural por el de tratar de modificarlo y sustituirlo. La «economía neoclásica» acabó liquidando también el papel preponderante que ocupaba el *trabajo* como fuente de valor y riqueza en la «economía clásica» y en la «marxista» y reduciendo, en última instancia, el problema de la *escasez* a la escasez de *capital,* considerado como una categoría abstracta expresable en unidades monetarias homogéneas. Lo cual permitió formalizar la economía, a imagen y semejanza de la mecánica clásica, sobre una Ley de conservación (de la materia, la energía y el valor) y un principio de maximización, aplicando para ello el cálculo diferencial.

LA MITOLOGÍA DE LA PRODUCCIÓN Y DEL CRECIMIENTO ENCUBREN EL DETERIORO DEL ENTORNO FÍSICO TERRITORIAL

Es evidente que la descripción de cómo los autores «neoclásicos» eliminaron del campo de *lo económico* las preocupaciones por los límites del entorno físico todavía presentes entre los «economistas clásicos», requeriría matizaciones que no tienen cabida en esta exposición. Sustituiremos tales matizaciones con la paradoja comúnmente ignorada de que el propio Jevons, tan seriamente preocupado por la escasez objetiva de recursos concretos, colaboró junto con los otros padres de la economía neoclásica, a dejar fuera de la ciencia económica este género de preocupaciones. A pesar de ser el autor de *The Coal Question* (1865) –obra que prevé el agotamiento de las reservas de carbón y combustibles fósiles y evalúa sus consecuencias sobre Inglaterra–, en una obra inconclusa, que pretendía ser la gran síntesis de la nueva ciencia económica, publicada a título póstumo con el título *The Principies of economics* (1911), señala explícitamente en un apartado sobre «Los así llamados recursos naturales» (minerales, suelo fértil, aire, agua, etc.) que estos recursos no forman parte de la noción de riqueza sobre la que se asienta la ciencia económica ya que «ellos pueden quizá ser calificados de utilidad potencial... pero la ciencia económica no se ocupa realmente de la utilidad potencial»[12].

---

[11] La ciencia ficción del siglo XIX recoge magistralmente la idea de que las realizaciones de la industria humana carecen de todo límite. Julio Verne ofrecerá en *La ciudad de hélice* el panorama de una ciudad moderna que se pasea majestuosamente sobre las aguas del Océano Pacífico. El hombre ya no necesita de la tierra, puede vivir sobre las aguas, bajo ellas o en el espacio, e incluso proseguir a escala sideral sus viajes y exploraciones, como nos relatan con saludables notas de humor el propio Verne en su *Viaje a la Luna* o Edgar Alan Poe en *La Aventura de Hanspfaall.*

[12] W. Stanley Jevons, *The Principles of Economics. A Fragment of a Treatise on the Industrial Mecanism of Society,* (1911), Reimpresión Nueva York, 1965, pp. 18-20.

De esta manera, se plantea también la paradoja de que cuando se racionalizan los procesos del mundo físico-natural, desacralizándolos, cuando se descubrió que en el mundo inorgánico no tenían lugar esos fenómenos de generación en los que antes se creía, ni se ajustaba a esa visión sacralizada del mundo recogida en las antiguas mitologías es cuando la ciencia económica extiende la noción de *producción* al conjunto de las actividades humanas, aunque éstas sean meramente de apropiación o de transformación (y destrucción) de recursos ya existentes en el planeta e incapaces de reproducirse. Así, cuando se sabe que los minerales no se reproducen en el seno de la Tierra, se sigue hablando de *producción* de oro, de cobre o de petróleo. Cuando se sabe que la Tierra habitable no crece, sino que –por la destrucción de suelo fértil– se reduce, se habla de *producción de espacio.* O cuando se sabe que la fusión y moldeamiento de los metales no constituye ninguna creación resultado de una unión sexual, es cuando se habla de producción de acero. Y es que, resumimos, la extensión ambigua y engañosa de la palabra *producción* para designar unificadamente actividades humanas tan diversas, se ampara en los efluvios del inconsciente que le dieron origen, recogidos inicialmente en la mitología y en la alquimia, y, retomados por la ideología que nació con el capitalismo ofreciéndose ese cajón de sastre de la *producción* medido en términos pecuniarios, como indicador eficiente del progreso prometido, identificado con la simple multiplicación de lo *valorable* e *intercambiable* inherente al capitalismo, que refleja el aumento de la Renta o Productos Nacionales, a la vez que se encubre la destrucción originada. Todo lo cual ha servido para ensalzar el carácter *productivo* de las elaboraciones industriales realizadas en la metrópolis; para elevar a la categoría de países *productores* de oro, de cobre, o de petróleo... a las antiguas colonias que lo único que hacen es entregar esas riquezas irreproducibles; o para ocultar que el aumento de los valores pecuniarios reflejados en tales macromagnitudes, puede ocurrir, como se hace cada vez más patente, paralelamente a un proceso de degradación del entorno físico e incluso del aumento de las tasas de mortalidad. De ahí que este tipo de condiciones haya impulsado recientemente a establecer sistemas de cuentas de los recursos naturales que permitan medir el deterioro, o la mejora, patrimonial y saber hasta qué punto el crecimiento de los agregados monetarios reposa sobre bases «sostenibles».

DESDE LA CREACIÓN HACIA LA TRANSMUTACIÓN DE LA MATERIA

Al ser racionalmente insostenible a partir de la formulación de la segunda ley de la termodinámica, mantener la hipótesis del imposible agotamiento o deterioro o, lo que viene a ser lo mismo, de la perfecta *sustituibilidad,* de los recursos naturales que dan vida a los sistemas económicos, tal hipótesis dejó de ser el objeto abierto de la discusión que hubiera reclamado su acepta-

ción consciente y razonada, para mantenerse en el terreno de lo implícito. En lo que sigue haremos explícitas las presunciones que en otro tiempo dieron visos de racionalidad a esta creencia, para desvelar su falta de base actual y, con ello, la irracionalidad de los sistemas pretendidamente racionales que se apoyan sobre ella.

La aparente contradicción que se observa entre los orígenes alquímicos de las nociones de producción y de crecimiento y el mecanicismo propio de la ciencia económica establecida, se resolvió aderezando esas nociones bajo los imperativos del nuevo patrón mecánico, tal y como expuse ampliamente en otra ocasión[13]. Frente a la idea hasta hace poco mantenida de que el auge de la filosofía mecanicista del siglo XVII supuso la quiebra de la alquimia, hoy se impone la interpretación de que «si para algo sirvió (en la química) la filosofía mecanicista fue para perpetuar el cuerpo de teoría tradicional al infundir decisión a los químicos para imaginar mecanismos invisibles que parecían conferirle armonía con la filosofía aceptada de la naturaleza»[14]. Como se ha sabido apreciar en estudios recientes de historia de la ciencia «aunque la filosofía mecanicista aparezca en principio como diametralmente opuesta a las concepciones organicistas de la alquimia, tales como la maduración y perfeccionamiento de la materia, las transformaciones de la alquimia pueden ser fácilmente tratadas en términos de reestructuración de las partes»[15].

Así la filosofía mecanicista sugirió, en lo que respecta a la química, que las partículas últimas eran del mismo tipo de materia y que la diferencia de los cuerpos o sustancias procedía solamente del tamaño, de la forma y de las posiciones que ocupaban las partículas de esa materia única[16]. Por lo común se suponía que las propiedades corrosivas de los ácidos se derivaban de que sus partículas adoptaban formas puntiagudas y afiladas, y que las materias alcalinas se componían de partículas porosas en las que las puntiagudas de los ácidos podían clavarse neutralizándose, como alfileres en una almohadilla. La masa se erigió en la época de Newton en la propiedad fundamental de la materia, y se consideraron todos los fenómenos de la naturaleza producidos por el movimiento de partículas con diferentes masas que adoptaban algunas pocas formas generales. Se impuso así la idea de que la naturaleza física estaba compuesta de materia cualitativamente neutra y que la variedad de aquélla resultaba de la infinidad de combinaciones posibles que se podían conseguir con partículas de diferentes formas y tamaños. El paso de una sustancia a otra

---

[13] J. M. Naredo, *La economía en evolución*, op. cit., cap. 20.I.

[14] Richard, S. Wastfall, *La construcción de la ciencia moderna.* Mecanismo y mecánica, Barcelona, Labor, 1980, p. 109.

[15] Betty Jo Teeter Dobbs, *The foundations of Newton's Alchemy*, Cambridge University Press, Cambridge, 1975, p. 44.

[16] Como se recoge en el compendio del saber de la época publicado por John Harris, *Lexicon Technicum or an Universal English Dictionary of Arts and Sciencies* (Londres, 1704, vol. I; 1710, vol. II). Reprod. facs., The Sources of Science, núm. 28, Londres, Nueva York, Johnson Reprint Corp. 1966).

se consideraba fruto de un simple trasiego mecánico de materia que alteraba el tamaño, la forma o la posición de las partículas.

De esta manera, «la concepción mecanicista sugirió la mutabilidad universal de las sustancias por la que cualquiera de ellas puede ser transformada en otra»[17] y viceversa. La idea de una materia universalmente maleable y, por lo tanto, manipulable por el hombre, sirvió para mantener la vieja creencia en la transmutación y en el reciclaje sin coste de la materia sobre la que se mantuvo, de forma más o menos velada, la falacia de la sustitución sin fin de los recursos a la que antes hicimos referencia.

Postulando la idea de que cualquier cosa puede obtenerse de cualquier otra «la filosofía mecanicista proporcionó una acabada imagen en la que traducir la vieja creencia en la transmutación»[18]. Estos planteamientos apoyaron eficazmente la creencia en un progreso ilimitado magnificiando los posibles logros del *homo faber* en la manipulación y perfeccionamiento, ya que no en la creación, de la materia. Pues, como nos recuerda Aldous Huxley «la creencia en un progreso general se basa en el antojadizo sueño de que cabe conseguir algo a cambio de nada. La, suposición subyacente es que las ganancias obtenidas en un campo no hay que pagarlas con pérdidas en otros»[19]. La noción de producción se mantuvo así en la ciencia económica, para cifrar ganancias netas en el terreno de los valores de cambio supuestamente respaldadas, primero, por el crecimiento de la materia y, después, de forma quizá menos explícita, por su transmutación en el contexto mecanicista que acabamos de describir. Y lo sorprendente no es que este desplazamiento en la idea física subyacente del proceso de producción se haya operado, con bastante retraso por cierto, en consonancia con aquel otro que tuvo lugar en las ciencias de la naturaleza, sino que siga anclado a una idea hoy obsoleta en esas ciencias. Pues obsoleta está esa visión de la materia y de los fenómenos de la naturaleza que ofrecía la filosofía mecanicista en los siglos XVII y XVIII sobre la cual la ciencia económica estableció, a raíz de lo que hemos denominado la ruptura epistemológica postfisiocrática, la noción de producción que adquirió con los autores neoclásicos la expresión formalizada que recogen usualmente los manuales.

Al desplazamiento que tuvo lugar en la filosofía natural desde el organicismo hacia el mecanicismo y desde la creación hacia la transmutación de la materia, correspondió otro en la ciencia económica que traspasó la atribución de las más altas cualidades productivas desde la agricultura y la minería hacia la industria y los servicios. Pues a medida que se fue consolidando dentro del enfoque mecanicista la ley de conservación de la materia –y de la energía– los economistas la utilizaron como un argumento eficaz contra la noción de pro-

---

[17] R. S. Westfall, *La construcción...*, op. cit., p. 114.

[18] Ref. ibid, p. 115.

[19] Aldous Huxley, *Science, liberty and peace*, textos recopilados por D. Thompson en Science in perspective, Londres, John Murray, 1965, p. 18.

ducción fisiocrática. Ya no podía haber creación sino mutación o alteración de la materia preexistente. La clasificación de los «mercaderes» siguiendo una escala de importancia descendente en aportadores, inmutatores o melioratores, y conservatores, según aportaran, mudaran o, simplemente, trasegaran la materia objeto de su comercio, clasificación propia del medioevo que estaba presente en los fisiócratas, quedó disuelta por el rasero unificador del enfoque mecanicista dominante: todos pasaron a la segunda categoría, de la inmutatores o melioratores, pues incluso los comerciantes cambiaban al menos de lugar y de propietario los productos que movilizaban para la venta. Tras un tiempo en el que se creyó que el hombre podía colaborar con Dios, e incluso sustituirlo, en los procesos de creación material, siguió otro en el que se pensó que ni Dios era capaz de producir materia, sino sólo de manipularla imprimiéndole forma y movimiento. En consecuencia, la estricta noción de producción de los fisiócratas se disolvió en otra mucho más amplia en la que cabían todas las actividades con tal de que –independientemente de su significado físico– fueran capaces de crear valores de cambio.

LA DESNATURALIZACIÓN DE LA NATURALEZA

El triunfo de la filosofía mecanicista favoreció así el proceso antes mencionado de desnaturalización de la Naturaleza como conjunto orgánico constitutivo de un orden Natural a emular y respetar. Pues lo orgánico mismo se vio invadido por esquemas interpretativos mecánicos. Por analogía con los anteriores enfoques organicistas del mundo, que postulaban un estrecho paralelismo entre la estructura del hombre –el «microcosmos»– y aquella del universo –el «macrocosmos»– ahora se enjuiciaban ambas a partir de símiles igualmente mecanicistas. A la vez que se hizo habitual la comparación del universo con un reloj, se acabaron considerando los animales, e incluso el cuerpo humano, como máquinas andantes. «No cabe duda de que no yerro al afirmar que el cuerpo humano es un reloj» señalaría La Mettrie en *El hombre máquina* (1748) reproduciendo con más éxito los símiles mecánicos que empezaron a atribuirse al cuerpo humano por Hobbes en el *Leviatán* (1651), por Descartes en su *Tratado del hombre* (1662) o por otros pioneros de la filosofía mecanicista. Bien es cierto que hubo excepciones, pero como tales confirman la regla de interpretar la Naturaleza desde el dogma exclusivo de la filosofía mecánica[20].

[20] Citemos a Maupertuis en su *Essay sur la formation des corps organisés* (1756) como ejemplo de estas excepciones. «Algunos filósofos han creído que con la *materia* y el *movimiento* podían explicar toda la Naturaleza... Otros, conscientes de la insuficiencia de esta simplificación, creyeron necesario añadir (a la extensión de la materia) la impenetrabilidad, la movilidad, la inercia y, por último, la atracción... Pero incluso con la atracción se está bien lejos de explicar la formación de una planta o de un animal» –señalaba este autor–. Para ello Maupertuis pensó que habría que sustituir la «atracción uniforme y ciega» por algún principio de «inteligencia» que moviera a las moléculas, algún principio «parecido a esto que acos-

El desplazamiento de enfoques desde el organicismo hacia el mecanicismo modificó también la idea de naturaleza desde un Orden Natural *a imitar* hacia un mero conjunto de recursos y fuerzas *a explotar.* Al mismo tiempo, al eliminarse la idea ordinaria de *generación* y *crecimiento* de la materia (en virtud de la Ley de Conservación o primera Ley de la Termodinámica) y sustituirse por la creencia en la mutabilidad o transmutación universal de substancias, la Naturaleza pudo aparecer como una *reserva permanente* de recursos o potencial de fuerzas que el *homo faber* podría ir desenterrando y «liberando» con la ayuda sin límites del ingenio humano. Ya no se trataba de colaborar con la Naturaleza o con la Tierra para acrecentar sus frutos, sino de obtener éstos contando lo menos posible con aquellas. La antigua admiración por lo natural dio paso así a una creciente veneración por lo artificial.

Paralelamente al desplazamiento en la consideración de la naturaleza se modificó también el lugar ocupado por el hombre y la sociedad ante ella. Sabido es que la idea de un Orden Natural inmutable, en el que cada criatura por modesta que fuera desempeñaba el papel que su divino artífice le había atribuido, hizo las veces de coartada justificatoria de las sociedades jerárquicas tradicionales. Pero curiosamente esa idea de Orden Natural se fue trasformando para servir de apoyo a las nuevas construcciones políticas, económicas, éticas y estéticas que fueron tomando cuerpo el «siglo de las luces». Sin embargo, esa rehabilitación de la Naturaleza propia del siglo XVIII fue el canto del cisne de la propia idea de Orden Natural al verse invadido por los enfoques mecánicos que gobernaban las nuevas ideas y sistemas supuestamente constitutivos de ese Orden.

LA INTERPRETACIÓN ATOMISTA Y MECÁNICA DE LA NATURALEZA HUMANA Y SOCIAL

La Naturaleza humana, como parte integrante de la Naturaleza en general, fue esgrimida como patrón para diseñar y fundar sobre él las nuevas ideas de sistema político y de sistema económico. «Para hacerse una idea clara de los elementos del Derecho Natural y de la Política, es importante conocer la naturaleza del Hombre», empieza diciendo Thomas Hobbes en su libro *Naturaleza humana*[21]. De esta manera los principios de libertad e igualdad que subvirtieron al Antiguo Régimen, se apoyaron en interpretaciones conve-

---

tumbamos a llamar deseo, aversión y memoria». Lo que le valió la dura reprimenda de Diderot. (Vid. Maupertuis, *Système de la Nature. Essay sur la formation des corps organisés,* 1756, y su *Réponse aux objections de M. Diderot,* Reed., Vrin, 1984).

[21] Thomas Hobbes, *Human Nature, or Fundamental Elements of Policy,* 1650. Esta obra fue traducida al francés y divulgada por el barón Holbach en 1772. (Vid. reedición facsímil de esta versión en Librairie Philosophique, París, 1992).

nientes de la Naturaleza humana[22]. Lo mismo que esta Naturaleza se esgrimió también pan socavar el supuesto apoyo divino de la autoridad monárquica presente en las sociedades jerárquicas anteriores[23], para establecer las bases del sistema político democrático y para proponer el *laissez faire* mercantil como base del sistema económico. Los mundos ideales de la política y la economía concebidos en los siglos XVII y XVIII se apoyaron, así, en un supuesto Orden Natural interpretado desde los principios del atomismo y la mecánica. En tales enfoques los individuos jugaron el papel de esos átomos de materia homogénea sobre cuya individualidad e independencia se construyó la física newtoniana. El sistema social no era más que la agregación de corpúsculos individuales y su análisis se abordaba buscando la lógica de los impulsos elementales que los movían. La idea de *homo economicus* encajó en esa razón mecánica, induciendo a concebir un subsistema autónomo en el que los individuos se movían como robots empujados por la fuerza del interes económico, cuyos impulsos canalizaba y sumaba el mercado capitalista, lo mismo que el sistema político democrático configuraba la «voluntad general» adicionando las voluntades individuales de los votantes.

El interés propio pasó, según Helvetius[24], a desempeñar en el mundo económico un papel similar a la gravitación universal en el mundo físico impulsando el movimiento sin fin de la *producción* y del *gasto.* Se extendió así la idea de la «lucha de intereses, que agita a los hombres entre sí, establece naturalmente un equilibrio que jamás podrían alcanzar las leyes»[25]. La fe en que la Divina Providencia guiaba y premiaba a los hombres siempre que no actuaran en contra de sus principios, se vio sustituida por la confianza en que la «mano invisible» del mercado garantizaría la mejor situación económica para el conjunto social, transmutando los «vicios privados» del egoísmo y la avaricia en «prosperidad pública», como rezaba el subtítulo de la *Fábula de las Abejas* de Mandeville 1714)[26]. La fe en la buena nueva del mercado tuvo unos efectos comparables –al decir de Polanyi– a «la más violenta explosión de fervor religioso que haya conocido la historia»[27].

---

[22] Así lo atestiguan los artículos escritos para la gran *Enciclopedia* (1751-1772) sobre las voces «Libertad» e «Igualdad».

[23] «Si la naturaleza ha establecido alguna autoridad es aquella del padre... todas las demás formas de autoridad tienen su origen distinto de la naturaleza», señaló Diderot, en su artículo sobre la «Autoridad» de la *Enciclopedia.*

[24] Helvetius, *De l'Esprit,* 1758, *Discours,* II, cap. 2.

[25] Gaspar Melchor de Jovellanos, *Informe de la Sociedad Económica de esta Corte al Real y Supremo Consejo de Castilla en el Expediente de la Ley Agraria,* Madrid, 1795, p. 9.

[26] Bernard Mandeville, *The grumbling hive, or knave turned honest,* Londres, 1714. Se tradujo al francés en 1740, influyendo sus ideas en los enciclopedistas. (reed. F.C.E., México, 1982).

[27] Karl Polanyi, *The great transformation,* New York, 1944, Reed. Ed. la Piqueta, Madrid, 1989, p. 66.

EL MERCADO CONTRA LA NATURALEZA Y LA SOCIEDAD

Como consecuencia de ella, el ejercicio del poder económico se vio libre de las trabas morales que antes lo limitaban exigiéndole un paternalismo y un apego al territorio que fueron cayendo en desuso. Esta «liberación» del poder económico contribuyó, mucho más que la monarquía absoluta, a destruir las relaciones de cooperación y solidaridad propias de las organizaciones gremiales y campesinas tradicionales y a despojar la relación hombre-naturaleza del antiguo tono de respeto y colaboración para coronar el camino que la filosofía griega y la religión judeocristiana habían emprendido al separar lo divino de lo natural y al instrumentalizar esta relación, facilitando la explotación y deterioro de la naturaleza de todos conocido. De esta manera, hoy vivimos la paradoja de presenciar la culminación de esa ola de fervorosa mercolatría a la vez que la fuerza de los hechos corrobora que no se puede abandonar de forma duradera la economía a los caprichos de la «mano invisible» «sin aniquilar la sustancia humana y la naturaleza de la sociedad, sin destruir al hombre y sin transformar su ecosistema en un desierto... Permitir que el mecanismo de mercado dirija por su propia cuenta la suerte de los seres humanos y su medio natural, e incluso que de hecho decida acerca del nivel de vida y de la utilización del poder adquisitivo, conduce necesariamente a la destrucción de la sociedad. Y esto es así porque la pretendida mercancía denominada «fuerza de trabajo» no puede ser zarandeada, utilizada sin ton ni son, o incluso inutilizada, sin que se vean inevitablemente afectados los individuos humanos portadores de esta mercancía tan peculiar... El entorno natural y los paisajes serían saqueados, los ríos polucionados... Y, para terminar, la administración del poder adquisitivo por el mercado sometería a las empresas comerciales a liquidaciones periódicas, pues la alternancia de la penuria y la superabundancia de dinero se mostraría tan desastrosa para el comercio como lo fueron las inundaciones y los períodos de sequía para la sociedad primitiva»[28].

Precisamente la sociedad tuvo que defenderse frente a las consecuencias negativas que acarreaba la aplicación del mercado sobre todo en lo que respecta a esas tres cosas que no eran producidas para ser vendidas: la tierra, el trabajo y el dinero.

La experiencia de la Gran Depresión de 1929 provocó el abandono definitivo del «patrón oro» y generalizó el uso de la política monetaria para evitar que el mercado de dinero ocasionara «ajustes» tan catastróficos.

El movimiento sindical se ocupó de reivindicar unas condiciones mínimas de vida y de trabajo obligando a las sociedades civilizadas a dotarse de legislaciones laborales que garantizaran un salario mínimo y una jornada laboral máxima, condiciones de higiene y salubridad en el trabajo, subsidios de paro, etc.

---

[28] Ibídem, pp. 26, 118 y 129.

En lo que concierne a la tierra y a la naturaleza en ella contenida, es de todos conocido que la sociedad se defendió frente a su mercantilización, limitando el derecho de los propietarios al «uso y abuso» de la misma para asegurar mediante leyes del suelo, ordenanzas municipales, etc. el cumplimiento de ciertos estándares, servidumbres colectivas y otros requisitos mínimos que aseguren la habitabilidad de los territorios. Y en los últimos tiempos, las Administraciones nacionales e internacionales están embarcadas en el establecimiento de marcos jurídicos que limiten la propiedad y orienten al mercado para salvaguardar la naturaleza y, con ello, la habitabilidad de la tierra a distintos niveles de agregación, incluido el planetario. Pues si queremos que el hombre deje de ser, como hasta ahora, testigo impotente de los desastres ecológicos que él mismo origina, hay que trascender la simple defensa de los «derechos humanos» para preocuparse además por los deberes de los hombres para con la naturaleza. Para ello hay que reformular también las relaciones entre los hombres desde la competencia hacia el acuerdo solidario, ya que no existe en la naturaleza ninguna «mano invisible» que evite las consecuencias negativas que para el conjunto social se derivan de los comportamientos depredadores individuales y si ciertos individuos, empresas o países sacan particular ventaja de la depredación que ejercen, difícilmente se puede recomendar a otros un comportamiento más respetuoso.

LA CRÍTICA DE LOS ROMÁNTICOS

La sacralización de la ciencia y del mercado eclipsó así la antigua sacralización de la naturaleza, a la vez que el triunfo de la razón mecánica y causal y los excesos del enfoque analítico-parcelario acentuaron hasta la caricatura el esquematismo de la ciencia, sometiendo al hombre mismo a sus rígidos determinismos.

Entre las voces que se levantaron contra la mencionada deriva ideológica, destacan aquellas de los románticos[29] que trataron de recuperar la globalidad proponiendo nuevos vínculos entre el hombre y la naturaleza apoyados en campos de pensamiento, y de sentimiento, ajenos a la ciencia y recurriendo para ello al discurso poético y literario como arma eficiente para relativizar esa «claridad sin profundidad» que constituía, según Schelling, «la esencia de la ciencia». Pues la «claridad» científica que trajo el «siglo de las luces. entrañaba simplificaciones y esquematismos tales que resultaban altamente empobrecedores del pensamiento humano, sobre todo cuando se magnificaba

[29] No estimo oportuno redundar ahora en referencias a las sentidas críticas de estos autores sobre la ordenación del territorio (Vid. J. M. Naredo, «La ordenación del territorio. Sus presupuestos y perspectivas en la actual crisis de civilización», *Curso de Ordenación del Territorio,* Colegio Oficial de Arquitectura de Madrid, 1983), o sobre la economía (Vid. J. M. Naredo. *La economía en evolución,* Op. cit., Cap. 25. II).

su valor y se proponía su racionalidad como norma universal a la que la naturaleza y el hombre mismo deben someterse. La ciencia, originariamente concebida como una creación del hombre que lo llevaría por el camino del progreso y de la libertad cobraba, así, vuelos propios y le imponía servidumbres contra las que se debatían los autores románticos. Sin embargo, no cabe identificar este movimiento con un irracionalismo totalmente contrario a la ciencia. Precisamente para matizar esta cuestión la «física especulativa» de Schelling retoma la distinción kantiana entre entendimiento y razón y la hace corresponder con aquella otra que separa la ciencia de la filosofía. Desde esa posición, se criticaría la estrechez del entendimiento científico y se postularía la conveniencia de subordinarlo a la razón, dando para ello prioridad a dimensiones éticas y estéticas a las que la ciencia permanecía insensible. Ello no con ánimo de dar rienda suelta a una religiosidad moralizante o a un hedonismo individualista, sino pensando que como el hombre es parte de la naturaleza, el cultivo de sus intuiciones y sensibilidades éticas y estéticas le ayudaría a recobrar su conexión perdida con la naturaleza y la sociedad y a vincular también razón y entendimiento.

Se sale del plan de esta exposición establecer un juicio matizado de los logros (crítico-literarios) y las flaquezas (científicas) del movimiento romántico. Si hemos hecho referencia a este movimiento es con el fin de resaltar que su propósito de establecer nuevos vínculos de afinidad entre el hombre y la naturaleza, haciendo que la razón guíe el entendimiento y configurando una globalidad orientadora de los quehaceres científico-parcelarios, mantiene una actualidad palpitante. Ello no sólo por el mayor aprecio que de un tiempo a esta parte se atribuye a la naturaleza, sino porque el propio panorama del conocimiento científico y la mayor modestia de sus principales practicantes, ofrecen ahora un panorama más propicio que en el siglo XIX para que tal propósito se traduzca en sistemas de pensamiento más amplios y operativos.

LAS PERSPECTIVAS QUE SE ABREN TRAS LA CRISIS DEL DOGMA MECANICISTA

Aunque siempre hubo voces discordantes que pusieron en guardia contra los excesos del mecanicismo dominante en el siglo XIX, sólo desde la segunda mitad de ese siglo estas censuras, generalmente de orden ético y estético, empezaron a convertirse en un alegato científico serio contra el dogma mecanicista. En la década de 1860 se observan tres hechos significativos en este sentido. La exposición estructurada de los destrozos provocados por el hombre en su atolondrada inadvertencia de las leyes de la economía de la naturaleza, abordada por Marsh en su libro *Hombre y naturaleza* (1864). La formalización y divulgación realizada por Clausius de la segunda ley de la termodinámica, acuñando el término hoy popular de entropía para designar el sentido en el que evolucionaba la energía según dicha ley. Y la creación por

Ernest Haeckel de una nueva disciplina científica que bautizó con el nombre de «ecología», para ocuparse de esa «economía de la naturaleza» que había permanecido abandonada por la irrupción del dogma mecanicista.

Este cúmulo de acontecimientos preparó el terreno para la invalidación dentro del propio campo de la física de las pretensiones de universalidad y objetividad de la mecánica newtoniana. El libro de Ernest Mach, *La ciencia de la mecánica* (1883), constituyó un primer alegato frontal en este sentido, al advertir la particularidad de las categorías de base del sistema newtoniano, dando pie a que se levantaran las construcciones de la física de la relatividad y de los cuantos sobre presupuestos diferentes.

Pero hubo que esperar hasta bastante entrado el siglo actual para que el movimiento de impugnación antes mencionado fuera ganando globalidad en sus enfoques y coherencia en sus planteamientos tanto científicos como filosóficos. Recordemos que aunque hace ya más de un siglo que entró en crisis el dogma mecanicista sobre el que se apoyó tanto el saber científico establecido como la propia sociedad industrial, con esta crisis aparecieron contradicciones y disfunciones entre las distintas disciplinas, que todavía perviven. Lo cual no sólo se traduce en el conocido divorcio entre una economía standard que permanece anclada en el mecanicismo, y los desarrollos de la ecología y la termodinámica que lo trascendieron hace tiempo, sino que hasta hace relativamente poco no se consiguió una aproximación coherente y generalmente aceptada entre física y biología o, también entre ciencias del cosmos, ciencias de la tierra y ciencias de la vida. Por ejemplo, tenemos que el propio creador del término ecología. E. Haeckel, negaba el segundo principio de la termodinámica. O que, si bien cabe buscar el origen del concepto de biosfera, que establece la conexión entre estas últimas, en el libro de Venadski, *La biosfera* (publicado en 1926 en ruso y en 1929 en francés) e incluso en autores anteriores, hubo que esperar a la posguerra mundial para que este concepto pasara a ser admitido con generalidad en la comunidad científica. Lo mismo que hubo que esperar a la aparición en 1944 del libro del físico Erwin Schrodinger *¿Qué es la vida?,* para que se estableciera con generalidad una conexión coherente entre física y biología que trascendiera la paradoja de un sistema del mundo físico que excluía la vida o que daba pie a considerarla como fruto del *azar* (Monod) o del *absurdo* existencial (Camus). De manera que, hasta hace poco, resultaba difícil tender puentes sólidos entre el hombre y la naturaleza, cuando estaban por afianzar todavía conexiones fundamentales entre las propias ciencias de la naturaleza para explicar los fenómenos de la vida.

Hoy se sabe que la vida es consustancial a la historia de la Tierra, que el hombre es consustancial a la historia de la biosfera y que, para bien o para mal, esta llamado a coevolucionar con ella. Pues, como ha señalado Preston Cloud, debemos tener presente que «la Tierra ha llegado a ser lo que es como resultado de una serie de interacciones históricas que se extienden a lo largo de miles de millones de años. (Y que) las acciones del organismo ahora domi-

nante en ella, el hombre (incluida la mujer, claro está) influirán en el grado extraordinario en lo que llegue a ser en el futuro»[30].

EL NUEVO GEOCENTRISMO Y LA NUEVA CONCIENCIA GLOBAL

La toma de conciencia de que el hombre puede incidir, con sus intervenciones, sobre el futuro de la Tierra, va unida al mayor aprecio hacia la misma que recientemente se observa. Como indica el autor antes citado «el planeta Tierra es de supremo interés para nosotros porque es el único objeto del sistema solar, y en verdad del Universo, del que se sabe que puede dar sustento a la vida. Aún más importante para nosotros es el hecho de que constituye el único planeta de nuestro sistema solar en el que nosotros y nuestros descendientes podemos vivir en condiciones naturales... Merece la pena, pues, que tratemos de comprender nuestro planeta indudablemente finito, su limitado y frágil sistema de sustento de la vida y la necesidad de tratarlo con cuidado»[31].

Es precisamente en razón del mayor conocimiento que hoy se tiene del Universo en relación con la Tierra y con la vida humana que está renaciendo con fuerza entre los propios científicos un nuevo sentimiento geocéntrico, como testimonia el *Propósito* de la colección *Perspectivas mundiales (World perspectives series,* Nueva York, Harper & Brothers) dirigida por Ruth Nanda Anshen, con el apoyo de un comité que ha contado con la participación de Niels Bohr, Werner Heisenberg, J. Robert Oppenheimer, Konrad Lorenz y Kenneth Clark, entre otros. «En cierto sentido –se afirma en el *Propósito* de la citada colección– se puede decir que el hombre ha reconquistado su posición geocéntrica anterior en el universo. Puesto que hoy se puede ver una foto de la Tierra tomada desde lejos, en el espacio, desde el desierto lunar, y el aislamiento total de la Tierra se ha mostrado evidente. Es una idea tan nueva y tan fuerte en la historia como no ha podido jamás nacer en la conciencia humana. Ahora estamos todos preocupados por nuestro medio ambiente natural. Y esta preocupación no es sólo resultado de las advertencias lanzadas por los biólogos, los ecologistas y los defensores de la naturaleza. Es más bien el resultado de una toma de conciencia bien profunda del hecho de que el planeta Tierra es un lugar único y precioso. En realidad, no puede ser una simple coincidencia que esta toma de conciencia haya nacido en el momento preciso en el que el hombre ha dado sus primeros pasos en el espacio».

Este nuevo geocentrismo ofrece al razonamiento económico un objeto de estudio más amplio que el habitual. Pero en este caso tal razonamiento tendría que romper con su usual aislamiento para servir de punto de encuentro obligadamente transdisciplinar, que facilite la conexión no sólo entre las ciencias de la naturaleza, sino entre éstas y las ciencias del hombre. Pues aunque

---

[30] Preston Cloud, *El cosmos, la tierra y el hombre,* Alianza Ed., Madrid, 1981, p. 345.

[31] Ibídem, p. 345.

la discusión de la viabilidad y economicidad de los sistemas de vida de las sociedades humanas debe realizarse a la luz de los conocimientos científicos actuales hoy se sabe que no cabe esperar que los problemas de elección se resuelvan sólo con criterios científicos[32]. Lo cual otorga renovada vigencia al propósito formulado por Humboldt y los románticos de buscar soluciones que concilien criterios éticos, estéticos y utilitarios, para orientar las ambivalencias que suele comportar la toma de decisiones y para diseñar marcos jurídicos y administrativos propicios para que tal cosa ocurra.

El estrechamiento de lazos que se propone entre las ciencias de la naturaleza y las ciencias del hombre no debe suponer así un reduccionismo biologista. Antes al contrario, puntualicemos con palabras de Lewis Mumford que «en lugar de devaluar al individuo reduciéndolo a sus apetitos y a su energía animal o incluso a sus componentes fisicoquímicos inferiores, la orientación propuesta atribuye un valor nuevo a todos los acontecimientos naturales al considerar que son de la incumbencia del hombre (...) frente al reduccionismo del enfoque analítico-parcelario, la persona humana se sitúa en la más alta expresión de su existencia consciente, alcanzando una posición de responsabilidad para interpretar y dirigir el curso de la vida, dado que ésta se encuentra cada vez más en sus manos»[33].

Y es que, como afirma este autor, «el hecho de estar dispuestos a afrontar la existencia en todas sus dimensiones, cósmicas y humanas, es la primera de las condiciones requeridas para el desarrollo humano de nuestros días (...). Hasta ahora hemos vivido esencialmente en mundos parciales (...) ni la vaga totalidad subjetiva adquirida por el hombre primitivo, ni, al otro extremo, la objetividad fragmentaria y precisa investigada por la ciencia, pueden rendir justicia a todas las dimensiones de la experiencia humana (...). Viviendo en estos mundos separados, apenas puede sorprender que hayamos producido hombres truncados, criaturas más deformadas que esos homúnculos, «curiosos inválidos», con orejas, ojos, vientre o cerebro desproporcionados, mientras que otras partes de su cuerpo permanecen atrofiadas (...) (sin embargo) al igual que la interpretación humana del denominado mundo físico ha devenido multidimensional (...) lo mismo ocurre con el mundo interior del hombre que se extiende desde las profundidades del inconsciente hasta los más elevados niveles de pensamiento consciente, desde los actos reflejos hasta el comportamiento disciplinado (...)»[34].

---

[32] Así lo demuestra esa especie de teorema de Gödel de las ciencias sociales que es el teorema de Arrow. En efecto, como colofón a una larga cadena de críticas a las desmesuradas pretensiones de los economistas de apoyarse en la agregación de utilidades, preferencias y valores la obtención de «óptimos» decisionales que se suponían inequívocamente superiores a cualquier alternativa, el teorema de Arrow viene a precisar las condiciones tan restrictivas que exigiría la agregación de preferencias para lograr una elección colectiva exenta de contradicciones internas, reconociendo así, de hecho, que por lo común, las decisiones políticas o económicas han de llevar por fuerza un componente normativo.

[33] Lewis Mumford, *The transformations of man*, Nueva York, Harper & Row, 1972, obra que forma parte de la *World Perspectives Series* a cuyo propósito nos referimos con anterioridad. Nuestras acotaciones se refieren a la versión francesa de Payot, París, 1974, pp. 238-239.

[34] Ibíd., p. 231.

Parece obligado recordar que el propósito anunciado de transcender a la vez la «objetividad fragmentaria» de las especialidades científicas y la «vaga totalidad subjetiva del hombre primitivo» que los románticos trataban de recuperar, ha tenido su eco en el campo de la antropología académica. En este sentido apunta el ambicioso empeño de Claude Lévi-Strauss de encuadrar la observación etnológica en un «humanismo generalizado» que dé al traste con aquel otro humanismo de tradición judeo-cristiano, que enfrentó al hombre a la naturaleza y lo sumió en el «neoscurantismo» de un conocimiento parcelario. Para este autor la etnología no sólo contribuye al desarrollo del humanismo en extensión y en profundidad, sino que sobrepasando el estudio estricto de las sociedades humanas «llama a la reconciliación del hombre y de la naturaleza, en un humanismo generalizado»[35].

El principio, antes mencionado, de explicación multidimensional que trasciende de aquel de simplificación cartesiana, es denominado principio de complejidad por Edgar Morin. «Este se funda como aquel sobre la necesidad de distinguir y de analizar. Pero busca además establecer la comunicación entre aquello que se ha acotado: el objeto y su medio ambiente, lo observado con su observador, se fuerza no en sacrificar el todo a la parte o la parte al todo, sino en concebir la difícil problemática de la organización (...)»[36]. Con el principio de complejidad se trata de superar el conocimiento en mundos separados propio de la «ciencia clásica» que se ha traducido en que «las ciencias del hombre no tienen conciencia del carácter físico y biológico de los fenómenos humanos. Como las ciencias de la naturaleza tampoco tienen conciencia de su inscripción en una cultura, una sociedad, una historia, ni de los principios ocultos que orientan sus elaboraciones (...)»[37]. Lo dicho en anteriores apartados sobre la ciencia económica standard constituye un ejemplo modélico de ese conocimiento en mundos separados al permanecer de espaldas no sólo a las ciencias de la naturaleza sino también a la antropología social.

La necesidad de una ciencia con conciencia de sus propios quehaceres, defendida por Morin para evitar el «neo-oscurantismo» sin precedentes al que conduce la especialización científica en campos inconexos, entronca con la demanda de una ciencia con conciencia moral reclamada por Born[38] y por los firmantes del Manifiesto de Gotinga, entre otros. Aspectos éstos también derivados del principio de complejidad, en cuanto que reclama aceptar la interdependencia del conocimiento científico con otras formas del conocimiento más intuitivas, metafísicas o éticas, desligadas de la demostración racional.

---

[35] Claude Lévi-Strauss, *Anthropologie structurale,* 2, Plon, París, 1973, p. 322.
[36] Edgar Morin, *Science avec conscience,* París, Fayard, 1982, p. 43.
[37] Ibíd.
[38] Max y Hedwig Born, *Ciencia y conciencia en la era atómica,* Madrid, Alianza, 1971.

PERSPECTIVAS DE LA REVOLUCIÓN CONCEPTUAL EN CURSO. BIOSFERA VERSUS MEDIOAMBIENTE

Resulta difícil precisar el alcance y las consecuencias últimas de la revolución conceptual en curso. Si puede valer algún paralelismo con situaciones anteriores se podría decir que en este momento se está rebasando una fase fundamentalmente crítica del modo de pensar dominante, análoga a la que a fines del siglo XVII compendió el *Diccionario Crítico* de Bayle, para dar paso a la construcción de nuevos sistemas de pensamiento, que vio la luz dos generaciones más tarde en la *Gran Enciclopedia.* Hoy el escepticismo ha ganado nuevamente terreno, los grandes ideales, esperanzas y esquemas interpretativos sobre los que se levantó la civilización industrial se han ido transformando, de hecho, en proyectos meramente conservacionistas del actual orden de cosas. Lo cual, unido a que los desarrollos de determinados campos del conocimiento científico han roto el corazón ideológico en el que estaban encerrados, propicia, como hemos visto, el establecimiento de nuevas líneas de comunicación entre las disciplinas y de nuevos sistemas de pensamiento capaces de asumir y paliar las contradicciones que se observan tanto entre las distintas ramas del conocimiento científico como entre éste y las otras dimensiones del pensamiento y la cultura humana.

Este nuevo geocentrismo y esta nueva conciencia de la globalidad son coherentes con un modelo de orden social y económico radicalmente distinto, opuesto incluso, en muchos aspectos, al actualmente dominante. Un orden que en vez de tomar como objetivo el crecimiento indefinido de las partes haciendo abstracción del entorno en el que ha de desenvolverse, toma buena nota de las características de este entorno para construir sobre ellas formas de vida estables. Un orden que en vez de alentar a cada individuo, a cada empresa, a cada Estado a proyectar sus afanes de infinitud por el camino de una acumulación y de un consumo ostentorios individualmente mezquinos y colectivamente suicidarios, los oriente por caminos a la vez menos depredadores y más creativos y moralmente gratificantes. Un orden que, a diferencia del actual, tome como objetivo material su inserción equilibrada en el medio y se oriente hacia la consecución de los valores vitales de los hombres y no hacia móviles pecuniarios abstractos. Un orden que, en suma, acusaría mayor analogía con lo orgánico que con lo mecánico, en el sentido de que los organismos, y los ecosistemas, tienden a autorregularse, manteniendo y reproduciendo su estructura sin necesidad de controles o imposiciones externas y en tanto que forman unidades funcionales coherentes cuyas partes constitutivas tienen un grado de complejidad y de autonomía que trasciende con mucho del panorama simple, repetitivo y estrictamente determinista de lo mecánico.

Ahora se da la paradoja de que la ciencia se ocupa de medir y predecir el

rápido deterioro de las condiciones de habitabilidad de la Tierra[39] que la ciencia misma había propiciado al alimentar las ilusiones y las soluciones técnicas parcelarias sobre las que se apoya el orden social actualmente dominante. A diferencia de lo ocurrido en la época de los románticos ya no se enfrenta un conocimiento científico unitario a las censuras que desde fuera se le practican. Hoy afloran marcadas contradicciones entre las propias disciplinas científicas y sordas polémicas entre sus practicantes, derivadas de sus distintas posiciones ante la nueva globalidad geocéntrica antes indicada. Apareciendo el enfrentamiento entre economía y ecología, o entre enfoques «economicistas» y «ecologistas», como uno de los más llamativos y siendo bien significativo el hecho de que las dos partes en pugna reivindican la misma raíz *eco* para designarse.

Las peculiaridades del momento actual estriban en que el enfrentamiento científico se solapa claramente con el ideológico en una misma batalla llamada a agudizarse. Pues resulta llamativo que mientras la nueva globalidad goecéntrica se va afianzando, la ética insolidaria se extiende también junto a la idea de que la «mano invisible» del mercado la reconducirá hacia el bien común, a la vez que el nivel de resolución del enfoque analítico-parcelario aumenta cada día aportando logros y peligros cada vez mayores. Qué diría Ritter de la física atómica y la biología molecular actuales, con sus aplicaciones genético-ingenieriles, cuando denunciaba junto con otros románticos el simple análisis químico, por considerarlo una «vivisección de la Naturaleza». Qué diría Polanyi de la reciente ola de fervor mercolátrico que se ha extendido por el mundo, llegando hasta los países más poblados y ajenos a estas creencias del Asia Central, cuando este autor consideraba que la fe en el mercado como panacea del progreso, fue un virus pasajero que estaba remitiendo en favor de consideraciones más pragmáticas.

El modo de relacionarse el Hombre con la Naturaleza vendrá, así, condicionado por la forma en la que se resuelva el conflicto ideológico y científico que enfrenta, por una parte, la versión actual del enfoque analítico-parcelario y de la ficción mandeviliana de que el comportamiento individual depredador e insolidario es el mejor medio de conseguir –por obra y gracia del mercado– un enriquecimiento y un bienestar generalizados, por otra, el enfoque más globalizador, geocéntrico y cooperativo antes mencionado, que apuntaría simultáneamente a cumplir objetivos utilitarios, éticos y estéticos, como había sugerido Humboldt, de acuerdo con el sentir de otros autores románticos de su siglo. Ninguno de estos dos enfoques puede ser ya ajeno al deterioro de las condiciones de vida en la Tierra, pero abordan los problemas de modo diferente. Para el primero de ellos la idea de naturaleza no es otra cosa que el «medio ambiente» que rodea al hombre, cuya calidad desea mantener, a base

[39] No es cosa de redundar ahora en los temas ampliamente divulgados por la prensa que jalonan la actual crisis planetaria (agujero de ozono, calentamiento global, aumento de los desiertos, pérdida de diversidad biológica, etc.).

de paliar algunos de los impactos más negativos que se derivan de su uso. Para el segundo, la naturaleza es la «biosfera» en la que el hombre se considera integrado, siendo esta integración lo que se propone revisar, para lograr modelos más estables y acordes con el geocentrismo de este enfoque.

Así la situación crítica actual se caracteriza por el carácter utópico que comportan los dos modelos extremos de gestión antes mencionados entre los que han de oscilar las aplicaciones económicas concretas. El primero de estos modelos, como reflejo que es del statu quo, se considera socialmente realista. Pero visto desde el ángulo de la racionalidad científica, su proyecto se muestra cada vez más irreal, en el sentido de que resulta a la vez globalmente inviable y no deseable: viene a ser la encarnación de esa utopía negativa que Patrick Geddes denominó «cacotopia»[40]. El proyecto que comporta el segundo de estos dos modelos, si bien se muestra más realista desde un punto de vista científico y más acorde a largo plazo con los valores vitales de los hombres, resulta socialmente utópico al exigir su puesta en práctica amplias modificaciones en el statu quo social e institucional vigente, que habrían de enfrentarse a un muro hasta hoy impenetrable de intereses y de bien atrincheradas reacciones. Se trataría, pues, de una utopía más deseable para el conjunto, la única capaz de asegurar la supervivencia a largo plazo de la especie humana, pero que hoy por hoy se revela socialmente inviable. Utopía positiva que respondería a lo que Geddes denominó «eutopía» para diferenciarla de aquella hacia la que nos arrastra el statu quo. La crisis de la civilización industrial y de su correspondiente modelo de gestión está llamada a evolucionar en el marco de esta situación en extremo paradójica en la que aparecen cada vez más enfrentados un realismo social y un realismo científico. Contradicción que se solapa con aquella otra que se observa en el mundo industrial entre unos modos de vida globalmente depredadores e individualmente insolidarios y un sentir cada vez más «ecologista».

Valga lo anteriormente expuesto para recordar que la superación de estas contradicciones exige, no sólo modificar la idea que se tiene de la Tierra, sino también, del Hombre, no sólo de Naturaleza, sino también de la Naturaleza Humana, reconstruyendo la complejidad de esta última desde las sórdidas simplificaciones del *homo economicus* y, en cualquier caso, admitiendo que si los hombres son malvados e insolidarios, «las leyes están obligadas a suponerlos mejores de lo que son»[41] a fin de elevar el listón moral de su comportamiento.

---

[40] Patrick Geddes, *Ciudades en evolución* (1915) Reed. Buenos Aires, 1960.

[41] Montesquieu, *L'Esprit des Lois,* Oeuvres Complètes, Gallimard, La Pléiade, París, 1949-51, Vol. VI, 17, p. 329.

ECONOMÍA Y NATURALEZA EN LA ENCRUCIJADA ACTUAL DE LA CIVILIZACIÓN INDUSTRIAL

El pensamiento económico no ha podido permanecer insensible a los dos enfoques mencionados en el apartado anterior, que impregnan tanto el debate filosófico como el objeto de estudio y el modo de razonar de las distintas ramas del conocimiento científico. Antes al contrario, por vez primera la comunidad científica de los economistas acusa una ruptura de filas apreciable según sus miembros, al preocuparse por la gestión de los recursos naturales, se decanten en favor de una de estas dos posiciones que entrañan formas distintas de concebir la naturaleza. La primera de ellas, que podríamos definir de modo telegráfico, como la analítico-parcelaria, atendiendo al método y como la individual-competitiva, atendiendo a sus posiciones ético filosóficas, canaliza sus preocupaciones sobre la gestión de la naturaleza a través de la noción de «medio ambiente», a base de aplicar sobre los elementos que la componen el instrumental al uso de la teoría económica, sin necesidad de preocuparse por sus fundamentos. Sin embargo, la segunda, que podríamos identificar como sistémica, en cuanto a enfoque y global-cooperativa, en cuanto a filosofía, piensa la gestión de la naturaleza desde el concepto de «biosfera» y es sensible a las insuficiencias que para ello comporta el instrumental teórico disponible, teniendo que revisar sus fundamentos.

De ahí que, en el primero de estos enfoques, el principio de racionalidad orientadora de la gestión parta de las valoraciones (expresadas en términos monetarios) de los agentes económicos hacia los elementos que componen su «medio ambiente» físico. Mientras que la racionalidad del segundo, parte del conocimiento físico de la «biosfera» (y los ecosistemas en que se articula) para orientar la toma de decisiones de los agentes económicos (y sus valoraciones monetarias). Es decir, que en el primero, los valores y equilibrios monetarios hacen las veces de variables independientes llamadas a condicionar el mundo físico, cuando en el segundo ocurre lo contrario, al tomar las características del mundo físico como variables independientes a las que hay que supeditar la gestión (y la valoración) de los agentes económicos.

Estos dos enfoques deberían complementarse para lograr resultados en la gestión del mundo físico que concilien razonablemente objetivos económicos deseables a plazos temporales, escalas, y niveles de agregación distintos. Sin embargo, hoy por hoy existen barreras institucionales y, sobre todo, mentales que lo dificultan. El principal obstáculo reside en que hay que tener la flexibilidad y la falta de dogmatismo suficientes como para apreciar que ambos enfoques han de complementarse y que ninguno de ellos debe ser excluyente del otro. Lo cual resulta difícil de encajar en una comunidad científica como la de los economistas, que ha estado habituada hasta el momento a reducir todos los problemas a la racionalidad del primero de los dos enfoques señalados, como si fuera la única posible, apoyando este reduccionismo con siglos de práctica contable empresarial y de fe en el mercado como panacea capaz

de resolver todos los males. Aceptar ahora que existe otra racionalidad económica distinta a la que debe adaptarse la anterior, para evitar que las actuaciones supuestamente utilitarias de los hombres tengan consecuencias amargas e inesperadas, supone un cambio notable de mentalidad que afecta al propio estatuto de la economía como disciplina y a la forma en la que se enseña a los neófitos. En efecto, como para razonar en el universo autosuficiente de los valores de cambio no hace falta conocer lo que hacen las otras disciplinas, a medida que se consolidó y formalizó el saber establecido de la economía standard, se fue vaciando la enseñanza de los economistas de otros conocimientos filosóficos, sociológicos, políticos, antropológicos, ...que se consideraban cada día más estériles para el ejercicio de su profesión, a la vez que se reforzaba el arsenal matemático y estadístico ligado a tales formalizaciones. De esta manera, tras la desconexión de la economía de las ciencias de la naturaleza con que se saldó su consolidación como disciplina independiente a raíz de la ruptura epistemológica postfsiocrática, se acabó produciendo también su alejamiento de las ciencias del hombre, dejando al común de los economistas desarmados para establecer estos contactos que ahora las circunstancias demandan con inusitada fuerza.

También podríamos hablar en este mismo sentido de un dogmantismo ecologista que dificulta el encuentro de los dos enfoques mencionados, al defender la naturaleza sin dar cabida en ella al hombre. Pero en este caso hay que advertir que tal dogmatismo se apoya más en posiciones éticas o estéticas que científicas, en el sentido de que la ecología, aunque esté muy condicionada por sus orígenes como ciencia natural, es una disciplina reciente habituada a ejercer un declarado oportunismo metodológico, por lo que tendría escasos problemas para abrir sus puertas a las preocupaciones económicas. De ahí que sea más frecuente el caso de ecólogos que hacen incursiones y aportaciones en el campo de la economía más o menos convencional, que viceversa. Como lo atestigua entre otros el ejemplo de un biólogo matemático como Colin Clark, que estableció formalmente que basta que la tasa de actualización sea mayor que la de crecimiento de los ingresos derivados de la renovación de un recurso, para que la racionalidad de la teoría económica estandard permita concluir que el propietario debería agotar el recurso en cuestión, aunque fuera renovable. Lo que pone sobre el tapete una vez más la contradicción que suele producirse entre los objetivos parciales y a corto plazo de individuos y empresas y aquellos otros más agregados y a largo plazo que exige el mantenimiento de la biosfera y de la especie humana. Creo que debe ser cometido de la economía asumir de manera explícita y razonada estas contradicciones y dilucidar los procedimientos más eficaces y menos costosos para lograr los objetivos y estándares colectivamente acordados al respecto, respondiendo a las demandas que en este sentido plantean las administraciones locales, nacionales e internacionales. El tratamiento explícito y razonado de estas contradicciones demanda la conexión de los dos enfoques a los que nos venimos refiriendo. Y para ello sería deseable que la economía

aplicara también a los aspectos metodológicos un poco de ese oportunismo de que hace gala en los temas a tratar, siguiendo en este sentido el ejemplo de esa ciencia más joven y flexible que es la ecología. Pues, recordemos con Whitehead[42] que «para que la ciencia no degenere en un pupurri de hipótesis *ad hoc,* debe hacerse filosófica y debe someter a profundo criticismo sus propios fundamentos».

Con todo, la simple y deshilvanada preocupación por la naturaleza que trata de atender la economía académica a través de la noción de «medio ambiente», no puede menos que inducir a relativizar la lógica habitual de esta disciplina, abriéndola hacia enfoques más amplios de lo económico, en los que la noción de «biosfera» tenga perfecta cabida. La economía académica se afana, ciertamente, en extender la vara de medir del dinero sobre este o aquel elemento de un «medio ambiente» que se presupone azaroso y desordenado, para someterlo a su lógica decisional del coste-beneficio. Se trata así de implantar la propiedad y el mercado sobre los bienes «medioambientales» en litigio, o bien de simular dicho mercado mediante la imputación de valores teóricos a dichos bienes a partir del cálculo de «costes de oportunidad», «precios sombra», «valores de contingencia»,... que sirvan de guía para la gestión. Pero aunque este proceder no exige revisar, sino extender, los fundamentos de la teoría económica establecida, está sirviendo de revulsivo para abrirla hacia otros sistemas de razonamiento que inciden también sobre la gestión del mundo físico. En efecto, los ejercicios de valoración mencionados ponen bien de manifiesto que, por una parte, necesitan apoyarse en un conocimiento solvente del comportamiento de los recursos a valorar, por otra, que el mercado no es ninguna entelequia, sino que ha de tomar cuerpo sobre un marco institucional y unos derechos de propiedad concretos que condicionan su extensión y sus resultados en precios, costes, cantidades intercambiadas, recursos naturales utilizados y residuos artificiales emitidos. En el mismo sentido apunta el propósito de hacer «sostenibles» los sistemas económicos, requiriendo para ello romper otra vez el actual «cajón de sastre» de la producción, para volver sobre la distinción fisiocrática entre «riquezas renacientes» y «bienes fondo». De ahí que, las demandas de las administraciones y el simple afán de coherencia de los investigadores, hayan promovido una avalancha de estudios, tanto de inventariación y modelización del comportamiento físico de los recursos (y residuos) que componen el «medio ambiente», como de un neoinstitucionalismo económico que viendo que el mercado puede ofrecer tantas soluciones reales o simuladas como marcos institucionales se le impongan, busca identificar aquellos marcos cuyas soluciones se adaptan mejor a las características del entorno físico y a los estándares de calidad acordados.

La consecuencia lógica de este modo de razonar es que el mercado deja de ser la panacea que, se suponía, debería garantizar por sí sola el «óptimo

---

[42] A. N. Whitehead, *Science and Modern World,* MacMillan Co. New York, 1925, p. 25.

económico», para convertirse en un instrumento a utilizar sobre bases controladas para conseguir soluciones que se adapten a determinados objetivos o estándares socialmente acordados. Lo que empuja a abrir el universo hasta ahora aislado de lo económico a la realidad física, a sus modelos predictivos, a las opciones tecnológicas y a los procesos de negociación social, trasladando el centro de discusión económica desde el interior del mercado hacia informaciones e instituciones exteriores al mismo. Con el consiguiente cambio de estatuto de la propia economía que –como indicaba en el prólogo de mi libro *La economía en evolución*– «escaparía así a su habitual aislamiento para dar lugar a enfoques transdisciplinares capaces de derribar la actual Torre de Babel de las especialidades científicas», para responder a las preocupaciones comunes que plantea la gestión del mundo físico. Señalando (en el Cap. 27) los rasgos metodológicos que –a mi juicio– deberían informar el desarrollo de un enfoque «ecointegrador» más amplio y potente, que evite la actual disociación entre los planteamientos económicos y los ecológicos, «reconciliando en una misma raíz *eco* la utilidad propugnada por aquellos como la estabilidad analizada por éstos». Pues resulta especialmente pertinente recordar, como antídoto frente al «oscurantismo» económico que genera la inconexión habitual entre economía y ecología que, tal y como advirtió Einstein, «el contenido de verdad de un sistema varía según sea la certeza y la completitud de su posibilidad de coordinación con respecto a la *totalidad de la experiencia*... (al igual que) un enunciado correcto adquiere su «verdad» del contenido de verdad del sistema a que pertenece»[43].

A la luz de lo anterior se aprecia que ya no es la tradicional discusión sobre las virtudes y flaquezas del socialismo y el liberalismo o de la planificación y el *laissez faire,* la que anima las filas de los economistas en su reciente inclinación a ocuparse de la naturaleza. La polémica de los economistas sobre el modo de abordar la gestión de la naturaleza no gira tanto sobre la aceptación o no del mercado como sobre el papel que implícitamente se le atribuye. Lo que verdaderamente encona esta polémica es el enfrentamiento entre una parte de la profesión que se afana en considerar el mercado como panacea, para seguir reduciendo todos los problemas a la medida del viejo universo aislado de lo económico, y otra parte que, al considerar el mercado como instrumento, razona sobre sistemas abiertos, relativizando así la capacidad explicativa de los antiguos enfoques. Enfrentamiento comparable al que se produjo tiempo atrás entre la ortodoxia newtoniana y la física relativista.

[43] Albert Einstein, *Notas autobiográficas,* Alianza Ed., Madrid, 1984, p. 99.

HACIA UNA ECONOMÍA ABIERTA Y TRANSDISCIPLINAR

RENÉ PASSET
Universidad de Paris I: Panthèon-Sorbonne

En esencia la reflexión económica recae sobre una **actividad multidisciplinar** de transformación orientada a satisfacer, con eficacia, las necesidades humanas. Así establece una relación entre tres esferas:

- la de la **biosfera**, sobre la que incide y en la que se integra la actividad económica;
- el de la **economía**, en la que la especie humana gestiona su intendencia y transforma así la **biosfera**;
- y, por último, la esfera **humana**, que establece las reglas del juego y las finalidades de la esfera **económica**.

Pero, como toda ciencia, la economía está fundada sobre convenciones. Hasta hace poco tiempo estas convenciones hacían que la economía se pudiera tratar como si fuera una actividad unidimensional, aunque de hecho fuera multidimensional.

CONVENCIONES FUNDADORAS...

¿Convenciones por qué?

Todas las ciencias se establecen sobre convenciones. Efectivamente, el mundo sólo se puede percibir a través de los mensajes de nuestros sentidos y se reduce para nosotros a representaciones subjetivas. Es lo que subrayaba Protágoras cuando afirmaba que «el hombre es la medida de todas las cosas». El trabajo científico trata de hacer dialogar esas subjetividades. Para lo cual ha de definir procedimientos que permitan *hablar la misma lengua*, tanto para expresar el acuerdo como la discrepancia. El *método* descrito por Descartes o el requisito de *falsabilidad* (prefiero decir *refutabilidad*) establecido por Pooper, ilustran, por ejemplo, estos procedimientos. El juego científico se

apoya así en convenciones simplificadoras que no se trata de saber si se identifican con una realidad que no podemos percibir directamente, sino si son aceptables para facilitar representaciones de esta realidad, lo mismo que el mapa se puede aceptar como representación de la carretera, de la que no podría representar todos los detalles so pena de volverse inútil.

¿Qué convenciones?

Las convenciones sobre las que se ha construido la ciencia económica «normal» (en el sentido de Thomas Kuhn), es decir neoclásica, se han formado en el siglo XIX bajo el dominio de circunstancias particulares: se trataba de reflexionar sobre una actividad que se desarrollaba, a la vez, **dentro de la «capacidad de carga» de la biosfera** y lejos de **los límites de saturación de las necesidades humanas**. De estas dos condiciones resultan dos consecuencias:

- *La naturaleza*, cuyos mecanismos reguladores se sitúan fuera del alcance de las actividades humanas, pudo ser legítimamente ignorada por los economistas o tratada como un bien libre que, según la generalidad de los autores de la época, no entra en el campo de la ciencia económica.
- *Cerca del mínimo vital, el «**más**» se confunde con lo «**mejor**»*: cuando Ricardo trataba de **bienestar** hablaba en quintales de **trigo**; lo mismo que las «curvas de indiferencia» de Pareto ligaban la **satisfacción** de los agentes económicos a las **cantidades** de bienes de que podían disponer...

Bajo estas condiciones se pudo construir una ciencia económica unidimensional y pretendidamente cuantitativa, aunque la actividad económica escape de hecho a ese patrón. Esa ciencia se presenta hoy como universal e intemporal y sus protagonistas olvidan que fue establecida sobre convenciones que fueron aceptables hace más de un siglo y que esa ciencia pretendidamente «universal» e «intemporal» constituye un resultado muy particular fruto de circunstancias históricas y ambientales específicas, circunstancias que hoy no se sostienen.

...HOY CADUCAS

La civilización industrial está atravesando una **mutación tecnológica** que se caracteriza por el encuentro de dos procesos:

- la **culminación** de una fase apoyada en el manejo masivo de energía que dotó a la especie humana de un poder de transformación del mundo

que antes resultaba difícil de imaginar. El manejo de la energía nuclear señaló el apogeo de esta fase.
- la **emergencia** de un fase nueva caracterizada por una capacidad sin precedentes en el manejo de la información pura, sin soporte material alguno, simbolizada por el ordenador.

Hoy asistimos a un desplazamiento desde el manejo masivo de la energía hacia el de la información y del peso en la gestión de lo material hacia lo inmaterial.

Las condiciones del juego económico cambian

En primer lugar, la economía se topa con la realidad física, es decir, con las dimensiones materiales del mundo en el que transcurre la gestión económica, contribuyendo para bien o para mal a transformarlo. Se tiene conciencia de que se están sobrepasando *los límites de carga de los entornos naturales*. Los daños globales infringidos a la biosfera (señala, por ejemplo, el *Informe* Brundtland en 1987) amenazan con romper los mecanismos reguladores de las condiciones propicias para la vida en el Planeta (la regulación térmica, por ejemplo, se altera con el efecto invernadero). Aparecen así las preocupaciones sobre la «solidaridad intergeneracional» y el «desarrollo sostenible». La naturaleza ya no puede seguir siendo considerada como un bien «libre» o «no económico».

En segundo lugar, se han franqueado ya en muchos puntos *los límites de saturación de las necesidades humanas*. El hambre mismo se ha pasado de ser un problema de producción a convertirse en un problema de distribución. La producción actual podría cubrir más del cien por cien de las necesidades alimentarias, pero mientras la población de los países ricos se ve aquejada de enfermedades motivadas por el exceso de alimentos (colesterol, obesidad,...) que induce a la venta de productos *light*, la de los países pobres sufre situaciones de penuria elemental. Ricardo podía identificar sin problemas, hace ya cerca de dos siglos más trigo a más bienestar, pero no nos atreveríamos a decir lo mismo con más automóviles en nuestras congestionadas ciudades de hoy día.

El funcionamiento de los mecanismos económicos se modifica

La importancia que ha adquirido la información hace que aumenten notablemente las inversiones y costes en aspectos que cabe llamar inmateriales, ligados al acopio y manejo de dicha información. Así, la mayor parte de los costes monetarios (en ocasiones hasta el 90%) son ajenos al proceso de producción en sentido estricto: son inversiones preliminares en estudios de mer-

cado, publicidad, organización, formación, e investigación, además de los abultados costes de gestión, comercialización e imagen... De esta manera se configura un sistema que funciona a coste global constante, lo que supone costes unitarios decrecientes a medida que aumentan las ventas.

Además, lo que «produce» en tales condiciones no son los «factores de producción» combinados, sino estructuras integradas –capital y trabajo confundidos– de tal modo que no se pueden distinguir las productividades propias de cada uno de ellos. Para incrementar la producción no hay que añadir, como dice la teoría «oficial» en los manuales, una cantidad de este o aquel factor, sino acelerar el movimiento del conjunto, exigiendo costes adicionales relativamente pequeños. En consecuencia, las nociones de productividad marginal, o de coste marginal, sobre las que se apoya el discurso económico tradicional pierden su significado.

Siendo la información más que nada relación, las estructuras «reticulares» se generalizan tanto en el seno de las empresas como en lo tocante a las relaciones entre ellas y su entorno natural y sociocultural: tal es el caso de la seriedad en el cumplimiento «justo a tiempo» de sus contratos, para lo que cada empresa depende de sus abastecedores y subcontratistas, de la regularidad y calidad de los transportes y comunicaciones, etc., es decir, del buen funcionamiento de estructuras empresariales, administrativas y políticas relacionadas con la actividad en cuestión.

En consecuencia:

- *El producto nacional* se está transformando en un bien colectivo formado por un conjunto de factores, procesos y redes que superan ampliamente el campo de las empresas e incluso de lo económico.
- *El mercado pasa de ser regulador* de equilibrios a convertirse en amplificador de desequilibrios: un exceso de oferta provoca un mayor esfuerzo competitivo orientado a rebajar los costes unitarios, mediante aumentos de producción que pueden agravar el desequilibrio inicial.
- *El denominado intercambio internacional* no es ya intercambio entre naciones: dos terceras partes de dicho intercambio transcurren en el seno de las propias empresas transnacionales, ya sea entre filiales o entre plantas y establecimientos diferentes. En consecuencia, la distinta «dotación de los factores» y «las ventajas comparativas» que explicaban las bondades de la especialización entre países en las teorías clásicas del comercio internacional pierden hoy sentido: la exportación «española» de automóviles ha dejado de serlo en sentido estricto en la medida en la que son la Ford, la Volkswagen... o la Renault quienes la realizan, resultando que son los principales países compradores de coches los que los producen a través de empresas transnacionales en ellos domiciliadas.

Thomas Kuhn tenía razón cuando apuntaba que el progreso científico se opera, más que por acumulación lineal de conocimientos, por cambios en los «paradigmas» que replantean las preguntas y los problemas que la reflexión científica trata de resolver. En el caso que nos ocupa, observamos la presencia de una ciencia económica «ortodoxa» que continúa anclada a las concepciones fundadoras que el tiempo ha sacralizado, mientras que las nuevas circunstancias exigen cada vez más a gritos la revisión de dichas concepciones.

...PIDIENDO NUEVOS ENFOQUES...

Una ciencia transdisciplinar

La ciencia económica de nuestro tiempo no puede ser otra que multidimensional y transdisciplinaria. El prefijo «trans», nos dice el físico Basarab Nicolescu, significa: «a través», «a la vez» y «más allá».

«*A través*»: una economía se puede reproducir en el tiempo sólo asegurando la reproducción de las esferas humana y natural en las que se inserta y con las que obligadamente se relaciona; se debe pensar así en respetar tanto las regulaciones de la biosfera, como los imperativos humanos, que son a la vez irreductibles e indisociables de la economía (que entra necesariamente en intersección con las esferas humana y natural).

«*A la vez*»: porque la economía tiene también las dimensiones de las esferas en las que está incluida. Por definición, un conjunto pertenece a otro cuando todos sus elementos pertenecen también a ese otro conjunto y tienen, por lo tanto, sus propiedades: por ejemplo, el trabajador no es sólo «fuerza de trabajo» que se compra y se vende, ni «capital humano» que se alquila, sino que es también un ser humano con dimensiones psicológicas y sociales, que tiene un cuerpo que obedece a las leyes de la vida y cuyas necesidades biológicas y de otro tipo existen con independencia de cuestiones de solvencia. Hay que comprender así que estas cuestiones no son sólo teóricas y que las soluciones escapan a la mera racionalidad científica, aunque ésta pueda orietarlas.

«*Más allá*» porque:

- cuando el «más» deja de confundirse con el «mejor», aparece la cuestión del «¿por qué?», es decir de la finalidades;
- cuando se defiende la solidaridad entre individuos, países y generaciones, aparece también la cuestión de la responsabilidad (Jonás), es decir de la ética;
- cuando se plantea el problema de la distribución en términos de equidad, aparece el problema de la justicia (Rawls) independientemente de cualquier cuestión de optimización.

Sólo cabe responder a estos problemas pasando al campo de los valores. Así la reflexión económica no puede agotarse en la abstracción del «homo economicus», ni siquiera en la del «individuo», como simple átomo de la sociedad, sino que tiene que hacer referencia a la *persona*, incluyendo sus valores, que contribuyen a su propia superación y dan sentido a la vida. Los valores no se encuentran inscritos en ningún código, sino que hoy apuntan en la búsqueda, en la tensión de cada uno hacia algo que se sitúa por encima de uno mismo y por lo cual se vive y hasta se puede aceptar morir.

Sus implicaciones

Así pasamos de hablar del objetivo del *crecimiento* económico, que es una noción cuantitativa y unidimensional, que se puede medir en dinero a través del producto nacional, a referirnos al *desarrollo* económico, que es a la vez cualitativo y multidimensional, conjugando las tres esferas: la de lo económico, la de lo humano y la de la naturaleza (propondría definirlo así como un «desarrollo complejizador y multidimensional»).

Esto implica una reflexión económica abierta hacia las ciencias de la naturaleza, del hombre y de la sociedad. Keynes decía que «todo economista debería de ser, más o menos, matemático, historiador, político y filósofo». El mismo Augusto Comte, el apóstol de la especialización de las ciencias, afirmaba la necesidad de «tratar de la relación de los trabajos especializados, con el sistema de los conocimientos positivos» y preconizaba «hacer del estudio de las generalizaciones científicas una especialidad».

Esto no se debe confundir:

- ni con la idea de que «todo está incluido en todo»: la pregunta es económica y viene del campo de la economía, pero sabemos que la respuesta no puede venir únicamente de ese campo.
- ni con una simple adición de más conocimientos: es, como dice Edgar Morin, una «reforma del pensamiento» que requiere integrar varias disciplinas sin olvidar nunca que la finalidad de tal integración deben ser las personas.

«Muy buena filosofía, dicen los defensores de la economía convencional, *pero ¿dónde están los resultados?»*. ¡Cándidas almas! ¿por qué no plantean esa misma pregunta a su propia ciencia? Cuando esa ciencia pretende ser universal e intemporal ¿por qué no aplican la misma lógica? ¿Cuáles son los problemas actuales que esa economía convencional ha previsto y anunciado? ¿Los daños infringidos en la biosfera que han conducido a la actual «crisis ambiental»? ¿Los daños infringidos en la sociedad por el paro y la marginación crecientes? ¿La creciente importancia de «lo inmaterial» en la gestión económica? ¿Han anticipado a caso instrumentos de análisis para reasignar

los tiempos de trabajo o enderezar la ecología industrial? Ninguno de ellos ha sido previsto por la economía estándar y, sin embargo, todos ellos fueron anunciados y analizados tempranamente desde esa economía abierta y transdisciplinar que venimos preconizando. Lo mismo que las propuestas de contabilidad del patrimonio natural y de indicadores del «desarrollo humano» vienen de nuestras filas y no de las suyas. Todo lo cual muestra que una ciencia económica «oficial» o «convencional» que ignora aspectos fundamentales de la realidad y, así, apenas consigue anticipar nada: más que intemporal, se encuentra más bien congelada o paralizada, incapaz de prever las principales transformaciones y problemas que observa nuestra sociedad.

...Y OTRAS POLÍTICAS

Ese análisis transdisciplinar tiene también su política «plural» que podemos caracterizar así:

Biosfera: subordinar la optimación monetaria a la reproducción de la biosfera

- *Lo que no debe confundirse con la «internalización de los efectos externos»*

La internalización, a través de la valoración monetaria, de los daños o beneficios ambientales, en vez de abrir la economía a la biosfera, reduce ésta a la racionalidad monetaria de aquélla.

La internalización trata de estimar los costes *interiores* (es decir, monetarios) a la esfera de razonamiento económico ordinario que pueden derivarse de los daños ambientales. Eso no es inútil, pero no es la parte principal del problema, porque cada bien económico participa también en una amplia red de interdependencias naturales y desempeña algún papel en la reproducción de la biosfera y, en consecuencia, de la actividad económica.

La internalización se preocupa de la optimización monetaria sin asegurar la *reproducción*. Ésta depende de funciones que no tienen ni pueden tener precio en la esfera de lo económico: ¿cuál sería, por ejemplo, el precio de la regulación térmica amenazada por el efecto invernadero? (evidentemente se lo podríamos imputar, pero la arbitrariedad de tal imputación sería de tal calibre que la despojaría de sentido práctico y menos aún científico). ¿Cuál puede ser, desde este punto de vista, el interés de valorar monetariamente, como lo han hecho algunos, la materia que mueve el ciclo del carbono en la biosfera? O ¿cuál podría ser el valor económico del agua contenida (stock) en la Tierra o de aquella que mueve el ciclo hidrológico anual (flujo), cuando sólo una muy pequeña fracción del agua movilizada o almacenada es objeto de compraven-

ta? Pese a todas estas dificultades, se supone que el «precio verdadero», es decir, incluyendo los efectos externos, permitiría alcanzar, no sólo el óptimo económico, sino también la reproducción de la biosfera. Pero las leyes que rigen esta reproducción no saben de costes monetarios: el mantenimiento de las funciones sobre las que reposa esta reproducción, plantea restricciones que deberían imponerse a la optimización económico-monetaria.

- *Una política transdisciplinar como la propuesta se podría llamar «gestión normativa bajo restricciones»*

Tal política no debe reducir la biosfera a la economía ni tampoco la economía a la biosfera: las debe articular gestionando sus posibles contradicciones. Para ello hay que definir primero los límites naturales y económicos de la reproducción y subordinar la optimización monetaria al respeto de estos límites. La reproducción de lo económico debe de primar sobre la optimización monetaria a corto plazo, recordando que tal reproducción implica la de las esferas natural y humana.

La persona: subordinar la optimización monetaria al respeto a las finalidades humanas

Esto concierne sobre todo al modo de gestionar la mutación económica en curso:

- *No se debe olvidar nunca que la finalidad de la economía son las personas*. En consecuencia, y al contrario de las políticas actuales, no hay que sacrificar nunca el bienestar de los seres humanos al mantenimiento de equilibrios llamados «fundamentales», que se revelan como meramente instrumentales y carecen significación humana directa (estabilidad de precios, equilibrio presupuestario, saldo exterior, crecimiento del producto nacional...). Desde nuestro punto de vista este sacrificio humano iría en contra de la economía. Razonar de otra manera sería adoptar la *economía de Pangloss*, el filósofo imaginado por Voltaire en su «*Candide*», que postulaba que «las desgracias individuales hacen el bien colectivo, de tal modo que se supone que todo marchará mejor cuanto más desgracias individuales haya». El reduccionismo se agrava en la medida que ha venido pasando del campo socio-político al económico y del económico al financiero.
- *No se debe confundir inflexión coyuntural con mutación*. Hoy muchos dicen «la letra» pero no conocen «la música»: hablan de «mutación» pero «cantan» los aires de la estabilidad monetaria, por el control de la demanda, del déficit presupuestario, del tipo de interés, ... es decir, por la regulación coyuntural.

Una auténtica política de mutación:

- Debe de tratar la coyuntura interpretándola a largo plazo.
- Y debe de abrir la reflexión económica hacia el mundo físico y social, ocupándose de los tiempos de trabajo, de la organización del tiempo «libre», del ingreso mínimo social garantizado, de los usos del territorio, de los recursos naturales utilizados y de los residuos emitidos...

Los valores no pueden estar ausentes de la reflexión económica

- Las cuestiones de justicia (Rawls) y de responsabilidad (Jonas) han irrumpido de nuevo en el campo de lo económico. Hoy se sabe que las concepciones en este dominio están subordinadas a los valores a los que cada uno obedece.
- La superioridad de este o aquel sistema de valores no se puede demostrar científicamente: cada ciencia se interroga sobre el mundo desde un punto de vista particular, mientras que los valores expresan concepciones generales del mundo, de la sociedad y de las personas.
- La decisión económica entraña elección que supone valores que se deben explicitar con claridad. En este sentido no hay política que pueda ser neutral. La economía combina en su razonamiento trabajo, dinero, recursos naturales..., sujetos a racionalidades diferentes en las que cada uno escoge su campo...

La honestidad intelectual consiste en decir claramente cuál es este campo. En política nadie, por mucho que se apoye en el conocimiento establecido, puede pretender hablar en nombre de una ciencia supuestamente ajena a las concepciones del mundo y a los valores que lo inspiran. En economía muchos lo siguen haciendo todavía.

BIBLIOGRAFÍA

BRUNDTLAND, G. H. (1987), *Our Common Future, World Commision on Environment and Development*, Oxford, Oxford University Press.

COMTE, A. (1839-1842), *Philosophie Première. Cours de Philosophie Positive*, Paris, Hermann.

JONAS, H. (1990), *Le Principe de Responsabilité*, Paris, Le Cerf. (edición original en alemán: Frankfurt, 1979).

KUHN, T. (1983), *La Structure des Revolutions Scièntifiques*, Paris, Flamarion (edición original inglesa: Chicago, Illinois, 1962)

NICOLESCU, B. (1996), *La Transdisciplinarité*, Paris, Eds. du Rocher.

PASSET, R. (1996), *Principios de bioeconomía*, Madrid, Fundación Argentaria y Visor Distribuciones.

POPPER, K. (1973), *La Logique de la Decouverte Scientifique*, Paris, Payot (edición original: Vienne, 1934).

EL MARCO ECOLÓGICO PARA ILUMINAR LA SOCIEDAD ACTUAL

RAMÓN MARGALEF
Universidad de Barcelona

A pesar de compartir el prefijo común «eco», no resulta fácil construir puentes eficaces entre las ciencias que llevan los nombres de ecología y economía. Mi contribución a la presente discusión sólo puede partir del campo ecológico y cualquier consideración que haga en relación con la economía puede ser considerada como heterodoxa. Mi punto de partida es evolucionista y empieza por considerar características de la humanidad que, desde su origen, pesan de manera importante e inevitable en la determinación de algunos aspectos de nuestra trayectoria evolutiva.

Debo excusarme por insistir, una vez más, acerca de algunos aspectos que estos últimos tiempos me han preocupado e interesado. Por supuesto, mis argumentos dejan cabos sueltos y además hay razones por las que jamás podrán ser populares. Entre ellas está el natural egoísmo individual y de clase, que se relaciona con la posición de muchos de los llamados intelectuales, y especialmente en los de nuestro país, en su relación con el tema de evolución biológica. Las polémicas surgidas en torno a la misma, definida en su sentido darwiniano, se silenciaron pronto (Rubio, 1983), aunque sin que en nuestro país se asimilasen los aspectos fundamentales de la evolución y de la dinámica de la misma en la naturaleza. Yo pienso que, cuando la Iglesia aceptó la posibilidad que «descendiéramos del mono», los partidarios de «las luces», perdieron cualquier interés por otras posibles implicaciones de la evolución y pudo parecer como si sólo hubieran prestado atención a la teoría de la evolución por su potencial para incordiar a los obispos, pero jamás por el que conservaba para hacer reflexionar a nuestra cultura, hasta el punto de crear dificultades hasta a los economistas.

Dicho esto a modo de introducción, recordaré otra vez algunos aspectos que, según creo, se relacionan poderosamente con el presente y el futuro de la humanidad, tal como se va configurando históricamente, y que se expresan en los dominios de la ecología y, también, de manera no menos manifiesta, en el campo de la economía.

TRANSMISIÓN CULTURAL

La *transmisión cultural* acelera la difusión y expansión de conocimientos adquiridos, actividades, o formas de comportamiento, con toda su variabilidad, aparte o por fuera de la transmisión genética de particulares potencialidades innatas. Pero esta mayor rapidez de propagación no garantiza la uniformidad, antes bien, puede generar y contribuye a mantener, en próxima coexistencia, notables diferencias culturales. El repertorio completo de información, distribuido entre los diversos individuos que comparten una fracción relativamente elevada del conjunto de dicha información estará siempre en condiciones de aumentar.

Su posible aumento demanda cambios físicos en los mismos sistemas vivos considerados, o bien en su periferia inmediata que es integrable con ellos en grado distinto. Estos cambios físicos se asocian con lo que se sigue llamando comúnmente un «aumento de entropía». El cambio implica una transformación irreversible de energía. Es posible que los cambios (negativos) de entropía por información (positiva), aparezcan de manera inevitable e inconsciente, y aun pueden resultar indeseables o no aceptados según otros criterios desarrollados *a posteriori* en los mismos o en otros segmentos de la población. Puesto que la transmisión cultural puede crecer exponencialmente, es lícito suponer que en algunos casos llegue a perjudicar su posible utilidad, para la especie que goza de ella, cuando una difusión excesiva de alguna de las formas de comportamiento podría resultar negativa, incluso desde el punto de vista de la selección natural estrictamente biológica, aunque contemplada desde un punto de mira algo sesgado.

APROPIACIÓN DEL ENTORNO

Tiene la forma de una utilización de energías y recursos materiales exosomáticos, es decir que, pasando o no pasando por la vía del metabolismo biológico ordinario, contribuyen desde una posición periférica a la conservación y evolución de las poblaciones y de las especies. Tal propiedad no es tan característica de la humanidad como la anterior. Las plantas vasculares terrestres, por ejemplo, utilizan la energía asociable con la evaporación del agua (evapotranspiración) que facilita la entrada en la planta de elementos nutritivos que vienen con el agua del suelo. Cuando la planta consigue estos elementos necesarios –y el fósforo suele ser el limitante más frecuente entre ellos– sus células pueden dividirse, generando la materia viva que podemos calificar de más noble. Cuando la escasez de fósforo frena la multiplicación celular, se fabrica madera, mucílagos, hidrocarburos y esencias, entre ellos algunas sustancias tóxicas que se difunden por el entorno, como lo son también los venenos de las «purgas de mar» o «mareas rojas». Todos estos mate-

riales, mucílagos, madera, materiales de construcción en los termiteros, son biológicamente comparables a los materiales empleados por los humanos para construir casas, canalizaciones y ciudades.

Esta comparación puede hacerse más significativa recordando de manera más precisa algunas características de la vida y milagros de las plantas vasculares terrestres: 1) El aparato que utiliza la energía de la evapotranspiración, hecho básicamente de celulosa y lignina (madera) se conforma de manera variable, aunque con un estilo peculiar para cada especie, en cada unidad que reconocemos como «una planta, un árbol, etc.» 2) La celulosa y la lignina, junto con otros compuestos caracterizados por su carencia de fósforo, como son los hidrocarburos volátiles de tipos diferentes (terpenos, esencias, etc.) pueden aparecer en combinaciones particulares según las especies, pero no garantizan una gran uniformidad en la morfología ni en las propiedades químicas de las respectivas unidades vegetativas, entre las cuales los grandes árboles destacan por su considerable tamaño.

La humanidad, tanto por su capacidad para la construcción y manipulación de objetos, instrumentos diversos y máquinas, como por la amplia utilización de energías no metabólicas propias, ha iniciado una vía de evolución propia, que se caracteriza por una intensa reorganización de su entorno natural, que hoy día muchos consideraríamos excesiva. Implica ya una inversión de la topología del mismo paisaje, que está teniendo consecuencias profundas. En menor grado, no sólo las plantas vasculares, más también los corales y los insectos sociales, por lo menos, poseen una capacidad, aunque menor, de reorganizar su entorno.

SEGUIMIENTO DE LAS VÍAS QUE HAN TENIDO ÉXITO

La formulación de la teoría de la evolución y su desarrollo conduce a aceptar que todas aquellas características que han sido adquiridas o retenidas a lo largo de una evolución pasada, en virtud de la selección natural, y que llegan a configurar las propiedades de las generaciones presentes, sobre las que nunca deja de operar la misma selección natural, siguen tendiendo, por lo menos durante cierto tiempo, a conservar y aun a reforzar aquellas mismas características que tuvieron éxito, a través de la selección natural en el pasado, que sigue conservando algunas notas semejantes en su orientación hacia el futuro.

En el caso que consideramos, que es el de nuestra especie, es de esperar o, por lo menos, suponer que tanto la transmisión cultural como la capacidad de manejar materiales y energías del entorno, continúan siendo factores importantes que pueden regir de manera significativa la selección natural que sigue operando dentro de los diversos grupos de la humanidad, o entre unos y otros grupos que permanezcan más o menos segregados en función del espacio y tiempo.

GENERACIÓN DE DESIGUALDADES

Aún con la mejor voluntad –en virtud de consideraciones más o menos ajenas al simple imperativo biológico– puede ser muy difícil evitar que la dinámica en una especie con las características de la humana, en lo que concierne al acceso a los diversos recursos y al uso de los mismos, no contribuya a engendrar diferencias de poder y calidad de vida entre individuos y grupos de los mismos. Su resultado previsible es que los grupos más beneficiados estarán formados por individuos menos numerosos que los grupos que acaban disponiendo de menos recursos y de menor poder. Por otra parte, es lógico que la velocidad con que aumenta la desigualdad puede ser función también de las facilidades o de las restricciones que condicionan el posible aislamiento de grupos de diversa entidad.

Las anteriores consideraciones no son una interpretación teórica de las consecuencias esperables del darwinismo duro, sino también una constatación bien meditada de las causas de la situación en que nos encontramos. Ello es el resultado de una aventura de evolución histórica que, probablemente apenas podrá compararse con ninguna más. Corresponde a etapas avanzadas en la evolución de una especie de primate que consiguió utilizar recursos materiales y, especialmente, recursos energéticos, simultáneamente con su aptitud para transmitir una «cultura», que, entre otras propiedades ha tenido la de contribuir a la generación y perpetuación de desigualdades notables, paralelas a las que ya se daban en el acceso inicial a los recursos mencionados en primer término.

Es claro que los condicionamientos no pueden ser tan sencillos y que los dos aspectos comentados como posibles determinantes o característicos de la condición humana se expresan de manera más complejas. Aunque yo creo que nunca son ajenas a la dificultad de encontrar soluciones justas o aceptables, especialmente a escala global, para las cuestiones candentes de la ecología aplicada actual: contaminación de nuestro entorno, agotamiento de recursos determinados, límites en la energía asequible y riesgos que, aún así, presentan su degradación en relación con la conservación de un entorno que ofrezca unas condiciones mínimas necesarias o deseables. Tampoco hay que ver en ello características particularmente viciosas de la naturaleza humana: En efecto, las plantas leñosas muestran una heterogeneidad de crecimiento mucho mayor que las plantas herbáceas que son siempre de pequeña talla y las plantas talludas ganan al final –si disponen de tiempo– haciendo sombra a las pequeñas.

DESARROLLO SOSTENIBLE: ESPEJISMO U «OXIMORON»

No es de extrañar que las mismas dificultades y problemas reaparezcan como centro de las dificultades asociadas con el llamado y tan deseado «desarrollo sostenible». Es un tema interesante que no puede plantearse con un

mínimo de lógica si no es dentro de un marco físico muy amplio, como es el que concierne las relaciones fundamentales entre entropía e información, que, en este caso, afortunadamente, se pueden presentar en términos relativamente simples. La observación crítica de todos los sistemas naturales, desde la estructura elemental de la materia hasta la vida y la biosfera, o las biosferas, si hubiere más de una, nos muestra cómo existe una correspondencia necesaria entre la adquisición de información o riqueza de estructura funcional –que podemos imaginar como ocurriendo aquí y ahora, de una manera que casi involuntariamente subjetivamos– y un aumento periférico de entropía. La entropía reifica una propiedad que es tan negativa como el imaginario flogisto, y que parece perderse centrífugamente y de manera continuada alrededor de nuestro centro de interés, de la misma manera que se difunden los gases cuya emisión violenta impulsa un cohete, cuando la posición de este cohete es lo que nos interesa.

Lo más importante, en lo que nos concierne, es la eficiencia conque se aprovecha la energía que se disipa, pero la cuestión se complica porque no se trata simplemente de recuperar energía mecánica, sino principalmente de derivar de la experiencia una información que permita conseguir mayores eficiencias en «experimentos» futuros paralelos y realizados con los mismos propósitos. En el caso vagamente considerado del bienestar de la humanidad, lo más decente sería aumentar la calidad de vida, de definición harto imprecisa. Todo ello concierne también a la organización del sistema en el cual ocurren los fenómenos y aún a una valoración global o grado de aceptación, que variará según los individuos, de lo que se puede considerar como información.

Que la situación no puede tener una solución fácil me lo recuerda indirectamente un artículo reciente de Kelly (1998) en el que comenta los nuevos aspectos que está adoptando el consabido conflicto entre las «dos culturas» que, escribe Kelly con una dosis considerable de discreta sorna, puede ir ahora por buen camino, porque la cultura literaria está encantada con la cultura técnica, no porque le abra nuevas ventanas a la deseada verdad, ni siquiera a la simple contemplación del mundo, sino porque le proporciona una considerable diversión, a través de su capacidad para ofrecer atractivos mundos virtuales. Habría aquí mucho que añadir en relación con el deseo de un desarrollo sostenible que sea «genuinamente» humano y las cualidades que debiera tener. Está claro que el tipo de discusión que se genera en este caso converge con un discurso que ha entretenido a la humanidad desde siempre.

El objetivo de esta reunión es o era considerar las relaciones entre ecología y economía. He asistido a bastantes reuniones y he leído diversos escritos sobre el tema. Mi posición es de naturalista y podrá parecer heterodoxa a muchos de los presentes. Yo veo en la adopción de entidades de cambio, del dinero, un mecanismo de regulación que, biológicamente, sería equivalente al comportamiento territorial de muchos animales, fundamentalmente vertebra-

dos, y aún podría encontrar a quien vería en ello ocasión para buscar alguna aproximación al «espíritu de la colmena o del hormiguero».

ENTRA LA ECONOMÍA

El objeto de la economía debe entrar en este punto. Por supuesto, se puede reconocer cierta secuencia evolutiva desde las formas primitivas de trueque, pasando quizá por el uso de la moneda de piedra de las islas Palau, hasta las finanzas modernas. Existen autores (Deleuze, Levy) para los que el dinero sería un valor «desterritorializado», la abstracción de algo tan real como el suelo, lo cual se aproxima a mi concepción.

H. T. Odum acarició un tiempo la idea de construir modelos en los que el flujo de dinero se pudiera considerar como una contracorriente del flujo de bienes y servicios. Por mi parte, pronto entendí que se debía desistir de semejante propósito, cuando se comprueba que el flujo de dinero en bucles de especulación supera en mucho (ahora me dicen que más de 50 veces) al dinero asociado, como flujo contrario, a las transferencias reales de bienes y servicios.

El dinero, por tanto, sería un agente más que influiría poderosamente en el proceso de generar y mantener desigualdades entre los elementos de una organización, enlazándolos unos con otros dentro de algún nuevo sistema ampliado y con ansias de crecer, que se espera sea sostenible. Los mejor intencionados añadirían el deseo de que además de favorecer la estabilidad del sistema entero, contribuyera a un bienestar relativo de los más, aunque es de temer que quizá acabe siéndolo solamente de una pequeña fracción de los más influyentes, entre los individuos que componen el colectivo humano.

Yo tengo todavía mis dudas; aunque por supuesto, me parece inaceptable y veo como indeseable la valoración monetaria de los ecosistemas mundiales, recientemente propuesta por Constanza y colaboradores (1997). Creo, además que es monstruosa la propuesta de pagar por el derecho a contaminar y otras lindezas por el estilo que cabe imaginar, algunas que ya existen o que irán surgiendo allí y aquí. Más adelante me anticipo a algo que se está gestando y que, yo no lo dudo, proporcionará nuevos ejemplos en unos pocos años.

DE NUEVO EN EL MARCO DE ESPACIO Y TIEMPO

Otro tema de interés concierne las fronteras. Enlaza consideraciones ecológicas (Margalef, 1998) con situaciones que ocurren en la distribución geográfica e interacciones entre poblaciones humanas que condicionan las características de las fronteras, su permeabilidad y su función. En fin, se genera un conjunto de problemas que debe resultar apasionante para todos y yo veo,

como un aspecto positivo, que sería posible enfocarlo con instrumentos científicos e intelectuales a nuestro alcance. Su significado en economía sigue siendo indiscutible, aunque la aproximación de dicha ciencia a los problemas reales, por lo menos a los que contempla el biólogo, se ve inadecuada, insuficiente, o bien de enfoque muy limitado.

Muchas situaciones se pueden cuantificar mediante valores absolutos (biomasas, precios), y entonces estudiar su variación en el tiempo, incluyendo aceleraciones y desaceleraciones y expresar también la dinámica de cambio (en forma de derivadas con respecto a tiempo). Ciertos procesos de cambio son graduales y «progresivos» (hay que emplear la palabra progreso con moderación y con bastantes precauciones, pues muchos no la creen políticamente correcta; véase Agustí y Wagensberg, 1998). Dichos procesos están sometidos a tasas de cambio asintóticas, significando que los mismos quedan interrumpidos o están sujetos de manera irregular a cambios de sentido inverso, bruscos o «catastróficos», tal como se observa en las poblaciones de especies, en la diversidad de faunas y floras, en los valores en bolsa, y en el acaecimiento de conflictos y guerras. Los cambios «progresivos» son lentos y se asocian con procesos de conversión gradual y bien estudiable de entropía potencial en información. El desarrollo sostenible ideal sería, por tanto, un proceso progresivo, que se podría calificar de «bueno» si no se empleara en acumular recursos que a menudo acaban engendrando una futura discontinuidad endógena (Goldstein, 1988). Es posible que un discurso análogo sea aplicable a aspectos que conciernen más específicamente a la economía.

Los cambios en sentido opuesto tienden a ser bruscos, sin regularidad, ni en cuanto al momento en que ocurren ni en lo que concierne a su intensidad. La aproximación matemática podría ser relativamente sencilla, como que sustancialmente consiste en una ampliación de la misma que fuera introducida ya por Verhulst en el estudio de la dinámica de las poblaciones: $dN/dt = aN^h - bN^{h'} - cN^{h''} - \ldots$, que ofrece muchas posibilidades, incluyendo cierta aleatoriedad en lo que concierne los cambios «negativos» de sentido catastrófico, que van más allá de la que Mandelbrot llama la escalera del demonio y que yo más bien calificaría de superdiabólica, según la cual la frecuencia de las perturbaciones de cierta clase es, de manera un tanto vaga (el diablo siempre halla por dónde escurrir el bulto) inversamente proporcional a la intensidad de las mismas. Esto puede ser válido tanto para la sucesión ecológica como para las catástrofes de causa geológica, quedando por ver si su aplicabilidad se extiende también a los conflictos bélicos y a los cambios en bolsa.

UN VEROSÍMIL ESCENARIO FUTURO: EL OCÉANO MUNDIAL COMO VERTEDERO

La humanidad es un vástago de la evolución que ha tenido un éxito considerable, también como factor dinamizador de la biosfera, para bien o para

mal. Los desarrollistas jurarían que siempre ha sido para bien, los viejos y sentimentales ecologistas nos sentimos más proclives, quizá por la edad y por aquello del tiempo pasado que nos parece mejor, a llorar sobre los aspectos negativos de las intervenciones inéditas con que casi cada día nos regala el que llamamos progreso. Un hecho importante es que el instinto del territorio de nuestros más remotos antepasados animales, desembocó en el dinero que organiza o desorganiza, a través de nosotros, los flujos de la biosfera y no sabemos bien dónde nos va a llevar. Realmente, nuestra sociedad debe enfrentarse con decisiones inaplazables, como lo son las que conciernen al manejo de un planeta que ya va estando superpoblado por nuestra especie. Puede ser ilustrativo escoger para examen un problema ambiental urgente, que el lector podrá situar como guste en su marco preferido de las relaciones entre economía y ecología.

Los grandes fondos marinos pueden constituir un basurero ideal. La misma naturaleza nos enseña el porqué y nos muestra que el utilizarlos como tales no es peor que otras actividades que realizamos diariamente. Los océanos se comportan como deficitarios o heterotróficos, comparados con la superficie de los continentes. Esta proporciona un excedente de producción biológica primaria, parte de la cual acabará disgregada, digerida y asimilada, es decir, totalmente reciclada, en los océanos.

Las estimas más fiables sitúan la cantidad de carbono orgánico que los ríos llevan de los continentes a los océanos entre 200 y 300 millones de toneladas anuales. Frente a esta cantidad, la extracción del producto de la pesca, carbono organizado que va de los océanos a tierra, desde hace varias décadas ronda, sin superarlos, los 10 millones de toneladas anuales de carbono orgánico, que corresponde a una fracción relativamente pequeña de aquella contribución.

Los océanos digieren una fracción considerable de la producción de los ecosistemas continentales y está justificado el interés que actualmente muestran numerosos grupos de investigación oceanográfica por lo que llaman el «microbial loop», o sea el ciclo microbiano, naturalmente heterotrófico, en el que reposa la digestión y removilización de una gran cantidad de materiales orgánicos, tanto los generados en los propios océanos, como los procedentes de los continentes y que se integran en ciclos, mayormente caracterizables como descomponedores, en el seno de las aguas marinas. Es lo más natural pensar que esta función descomponedora localizada en los océanos podría ir a más. Esto no sólo solventaría algunos de los problemas que a los humanos se nos plantean, y que implican una considerable aceleración en el fluir de materiales orgánicos, sintetizados en tierra, a los océanos. En compensación, los océanos tenderían a retornar a una situación que seguramente existió en un pasado relativamente no muy lejano, cuando los océanos mantenían en solución una cantidad de CO_2 mucho mayor de la que retienen ahora.

Es natural que exista interés por hacer mayor uso de esta capacidad de los océanos, interés que se combina con los graves problemas que plantea la acu-

mulación de materiales orgánicos putrescibles, de diverso origen y generados por nuestra civilización. Esta preocupación ha ido desarrollando paulatinamente, quedando aparentemente en segundo término, sin manifestarse abiertamente, la posibilidad de llevar a los océanos una cantidad ilimitada de residuos, seguramente por existir una presión considerable de fundamento ecologista y aun un convencimiento genuino a favor de proteger los océanos y especialmente los mares menores o internos, como el Mediterráneo. Seguramente se combinó la conciencia de los riesgos debidos a la acumulación de un exceso de vertidos procedentes de los continentes con la alarma asociada a las desgracias ocurridas con petroleros, que dieron origen a las catástrofes conocidas como mareas negras. Tengo la impresión que estos daños pudieran haber sido exagerados, porque, en general, causaron menos daños o fueron más fugaces de lo que se podía temer, y esto en razón de la gran capacidad de manejar y descomponer hidrocarburos que está presente en infinitos organismos marismos.

También en relación con este tema se perdieron muchas ocasiones de adelantar en el progreso de nuestros conocimientos. Creo que los estudios sobre «mareas negras» nos han puesto de manifiesto fenómenos que atestiguan más bien la misericordia que la malignidad de la naturaleza, para decirlo de algún modo. Colegas familiarizados con temas de contaminación en aguas del Mediterráneo, me han señalado, con cierta perpleja admiración, que algunos hidrocarburos contaminantes parece que se trasladen más a través de la atmósfera que con las propias aguas. Por poco que uno esté al corriente de las características fundamentales de la vida marina, no puede evitar la sospecha que la enorme capacidad metabólica de toda suerte de organismos presentes en el plancton marino se ha de manifestar sobre materiales tan genuinamente orgánicos como son los hidrocarburos. Extrapolando este hecho con aviesas intenciones alguien pudiera aceptar que la capacidad de los océanos para digerir toda la materia orgánica que le pongan por delante ha de rebasar cualquier límite, conclusión que me parecería exagerada o, por lo menos, poco prudente.

Hará poco más de dos décadas que recibí separadamente dos visitantes que me hablaron de la posibilidad de emplear tuberías de considerable diámetro, como las utilizadas para mover hidrocarburos, con el fin de conducir a niveles del mar relativamente profundos, materiales de desecho generados en los continentes, confiando que la naturaleza los incluiría en sus ciclos, tornándolos prácticamente inofensivos. De utilizar este recurso solo se provocaría una aceleración notable, dentro de los límites de lo asimilable, en la actividad heterotrófica de la vida marina. Recuerdo que no manifesté entusiasmo ni deseos de colaboración, en términos que probablemente hicieron que mis interlocutores me tomaran por un «ecologista» cuya posible colaboración no era interesante.

Este recuerdo tuve que reavivarlo ante ulteriores insinuaciones acerca de las excelentes condiciones de la profunda cuenca marina del NW del

Mediterráneo para ayudar a digerir materiales orgánicos procedentes del continente. No puede decir que faltara conciencia en las autoridades, aunque a veces algo mal colocada. Hace muchísimos años que aguas depuradas de Barcelona se estaban y quizá aun se están tratando con cal antes de devolverlas al medio marino, con lo que no se hace más que aumentar el volumen de los depósitos sedimentarios costeros y pagar el precio de la cal viva utilizada.

Siempre he sido consciente de la capacidad del medio marino para asimilar material orgánico procedente de los continentes y todos sabemos que, durante largos períodos de la historia de la Tierra, los mares han tenido un carácter más heterotrófico que el actual, siendo prácticamente anóxicos en profundidad, en varias o en las más de las grandes cuencas oceánicas. De hecho algunos de los episodios, bien de limitaciones en la vida marina, bien de cambios bruscos en la vida de todo el planeta, se han asociado, creo que con buen fundamento, con la acumulación lenta o con la evacuación brusca de CO_2 de los mares. Conviene insistir que tales ciclos fueron asimétricos, como lo son todos los ciclos comparables y de período generalmente más corto, caracterizados por una acumulación gradual de CO_2 en aguas profundas de lagos o mares y su evacuación más brusca o discontinua y aún potencialmente catastrófica. Asimetría que se manifiesta asimismo en relación con las fluctuaciones de «El Niño».

Se conocen los mecanismos de ventilación que operan en las grandes profundidades oceánicas, que influyen sobre la distribución y las características de la vida marina, especialmente de la que es propia de aguas profundas. En los tiempos que corren, la mayor parte de éstas se hallan bien ventiladas y son ricas en oxígeno, aunque se observan localmente casos de una anoxia relativa, como en la fosa de Cariaco, en las costas de Venezuela, y en el mar Negro. La presión hidrostática elevada que opera en aguas profundas mantiene en disolución una alta concentración de CO_2, –y de otros gases–, como en una botella de cava o champaña.

ASPECTOS SOCIALES DE LA CUESTIÓN

Los hombres de estado podrían ver en la actual capacidad de «digestión» y oxidación de los oceános una invitación a probar extender su eficacia al tratamiento de la enorme cantidad y variedad de materiales oxidables que la humanidad produce. Siempre se podría argumentar, por otra parte, que la utilización de tal capacidad ayudaría a reintegrar buena parte de dichos materiales en un ciclo global que es deseable que continúe en términos no muy alterados. Recordaré a este propósito el interés que hace unos años se despertó ante la posibilidad de que el hierro fuera un elemento regulador de la producción del fitoplancton marino, y que llevó a sugerir la utilización de la chatarra postbélica (flotas de guerra pasadas de moda) como suministro valioso para aumentar la fertilidad de las aguas marinas, que se suponía podría tener

esperables efectos beneficiosos y multiplicativos sobre la explotación pesquera.

Cada vez se manifiesta con mayor urgencia la necesidad de desembarazarse por vías baratas y de resultados efectivos de la enorme cantidad de objetos materiales y de tantos residuos indeseables que produce nuestra civilización. Sería posible dejar los desperdicios sobreros, que desearíamos que entrarán en un lago ciclo, en alguna zona de subducción de las bien conocidas, superando, por supuesto, los problemas técnicos que fueran apareciendo a lo largo del desarrollo de tal proyecto.

Como podía ser presumible, las necesidades de momento son más prácticas y urgentes y apuntarían precisamente a la utilización de algunas cuencas profundas marinas como sedes de recepción y posiblemente donde se inicie el metabolismo de todo este material. Las presiones de la sociedad sobre tal posibilidad se han suscitado en fecha relativamente reciente y han sido de signo muy variado.

En la década de los 60 se alzó considerable revuelo a consecuencia del abandono en el Atlántico europeo de recipientes que contenían materiales radiactivos. Algunos incidentes, como los provocados por la recuperación de bidones cerrados por parte de pescadores de arrastre y su apertura posterior que expuso al aire libre diversos materiales que se dijeron de baja radioactividad, forzó reconsiderar el tema de cómo proceder con semejantes vertidos. Era obvio que los materiales debían llevarse a profundidades mayores, por lo menos fuera del alcance de los arrastreros. Se propuso designar algunas áreas, entre otras una al Oeste de la Península Ibérica, como posibles vertederos autorizados. Entonces España estaba en el limbo, pero era prácticamente obligado contar con su presencia y recuerdo que asistí a una reunión y no a más de una. Supongo que sirvieron como prolegómenos de la que se conoce como la London Convention («Convention on the prevention of marine pollution by dumping of wastes and other matter», concluida en 1972 y que entró en vigor en 1975). Pero se sigue leyendo frecuentemente en la prensa acerca de materiales radiactivos en depósitos y aún de naves enteras cargadas de radioactividad, yacentes hasta en fondos relativamente someros de mares nórdicos.

Estos procederes, con ser potencialmente peligrosos, correspondían a utilizaciones secundarias o de limitado carácter bélico. Desde entonces, la presión para servirse de manera más generalizada de los mares como depósito de muy diversos residuos indeseados no ha hecho más que aumentar. La historia tiene episodios curiosos: Por supuesto, la cantidad de vertidos no depurados o depurados de manera insuficiente (¿con qué criterio se va a evaluar el grado de tratamiento requerido?), o bien de materiales supuestamente inertes, se ha estado llevando a cabo de manera irregular y probablemente resulta inevitable o difícil de legislar. Una parte importante puede ser material teóricamente inerte, como el procedente de dragados, etc. Pero otras actividades más específicas pudieran ser más dañinas. Entre el final de la década de los 60 y comienzos de la de los 90 bastantes buques se dedicaron a la tarea de incine-

rar en alta mar materiales indeseables o peligrosos y arrojar las cenizas sobrantes al mar. Por supuesto, la cumbre de Río de Janeiro, en 1992, pidió a los participantes que cesaran este tipo de vertidos.

Una revisión más detallada de los episodios que se hilvanan en esta breve historia hace ver el interés que nunca ha cesado y que va en aumento para utilizar los océanos como basurero global, también de materiales sólidos que van a parar al sedimento, con las dificultades que puedan originar.

Si uno piensa en la manera cómo se han tratado globalmente otros problemas comparables y las decisiones a que ha llegado, se puede imaginar que se alcanzará probablemente alguna resolución, que podría incluir el ofrecer cierta compensación económica a entregar por los países que más usos hicieran de la oportunidad que se trata de legalizar y aún de intensificar, a los que no hicieran o no pudieran hacer inmediato uso de una autorización limitada que permitiera echar materiales varios a los océanos. Es decir, institucionalizar la compraventa del derecho a contaminar. Ciertamente, los países continentales podrían utilizar también los buenos oficios de los países con acceso directo a las grandes cubetas oceánicas, disfrutando así de este singular privilegio suplementario que la existencia de los océanos concede a la humanidad.

Recientemente, el *Journal of Marine Systems* ha dedicado un volumen especial al tema monográfico *«Abyssal Seafloor Waste Isolation: A Technical, Economic, and Environmental Assessment of a Waste Management Option»*, con casi 200 páginas, que testifica el reconocimiento por la sociedad de la actualidad del tema y la posibilidad de que ingrese definitivamente en el grupo de asuntos conflictivos que se intenten encarrilar o resolver por la vía legal. La presentación del volumen por sus editores, P. J. Valent y D. K. Young, ambos del Naval Research Laboratory, del Stennis Space Center, MS, USA, expone el concepto de aislar –un considerable eufemismo– determinados materiales, como aguas residuales, cenizas de incineradoras, material dragado contaminado, en las grandes profundidades marinas, examinando críticamente las ventajas e inconvenientes que puede llevar consigo la puesta en práctica de tales posibilidades. Este proyecto ya ha sido bautizado con el acrónimo APWI, por *«Abyssal Plains Waste Isolation Project»*.

Dada la extrema actualidad del tema, las presiones que se supone obran en su entorno y el dinero implicado, es de suponer que se va a convertir rápidamente en el centro de estas discusiones internacionales interminables, que siempre se orientan hacia reglamentar o «controlar», más bien que a reducir, los impactos negativos de las actividades humanas sobre la salud de nuestro planeta.

Por otra parte, como ha ocurrido en todas las situaciones comparables, es inevitable que se acabe aumentando las diferencias de nivel de vida y de oportunidades entre los distintos grupos humanos. El tema, considerado en sus dimensiones planetarias y en su urgencia, no ha entrado hasta hace pocos años en las preocupaciones y en las discusiones científico-políticas internacionales, y se puede decir que ha suscitado un interés periodístico y televisivo

mucho menor que, por ejemplo, el llamado cambio climático o el famoso «agujero en la capa de ozono», que pertenecen más al grupo de ejercicios de distracción.

La «lista negra» provisional de vertidos prohibidos al mar incluye, entre otros, los elementos químicos cadmio, mercurio y sus compuestos orgánicos y halógenos, incluyendo plásticos persistentes, también en forma de cuerdas y redes, hidrocarburos y derivados, sin tener demasiado en cuenta las muchas posibilidades que tienen los ecosistemas marinos de transformarlos, materiales radiactivos, sustancias que pueden hacer el producto de la pesca incomestible o nocivo, etc. Se ha previsto una «lista gris» complementaria que incluye vertidos y actividades «que tienen remedio» y para los que se prevé la concesión de permisos especiales.

Me gustaría añadir más comentarios acerca de los problemas planteados, y su posición dentro de los mecanismos naturales de la biosfera y que son más o menos bien conocidos, algunos desde hace ya bastante tiempo. He recordado el carácter heterotrófico relativo de los oceános y el acoplamiento de su metabolismo como complementario del de los ecosistemas continentales. Un tema predilecto de la paleooceanografía ha sido el estudio de las fluctuaciones en la ventilación de las aguas profundas y las características de la producción marina. Por supuesto, ambas se relacionan con los cambios climáticos y aún con los cambios globales de carácter catastrófico que han afectado, de vez en cuando, a las características de la biosfera y a la continuidad y a los caminos de la evolución biológica. Puede ser interesante recordar que existe una considerable información a este respecto. Una utilización más prudente de la dinámica marina ha de pasar, además, por el conocimiento, siempre mejorable, de los fenómenos asociados con las glaciaciones, los episodios de transgresiones marinas o del Niño, y los cambios en las corrientes de retorno en la profundidad de los océanos, que, por cierto, contribuyen a depositar los nódulos ferromagnesíferos hacia el centro del Pacífico.

Después de leer los artículos reunidos en el volumen indicado y recordando trabajos anteriores sobre la oceanografía de las profundidades, mis conclusiones, pidiendo perdón por ser reiterativo, irían en la siguiente dirección.

Actualmente la mayor extensión de los oceános está bien ventilada hasta el fondo, ofreciendo circunstancias favorables para la oxidación y transformación de muchos materiales potencialmente ofensivos en otros prácticamente inofensivos. Una situación opuesta se tuvo, por ejemplo, hacia el final del Cretácico, con las aguas de profundidad oceánicas estancadas y cargadas de CO_2. Por supuesto, en aquellas épocas y, seguramente, en la presente, tanto la acumulación gradual de CO_2, como su evacuación, presumiblemente mucho más rápida y tumultuosa que su acumulación, influyeron sobre toda la superficie del planeta, sobre la atmósfera y naturalmente sobre la biosfera en grado mucho mayor de lo esperable de los cambios actuales debidos a la civilización humana.

El descubrimiento de surgentes submarinas de gases y, en general, de materiales reducidos cuya oxidación proporciona energía utilizable por parte de la vida, contribuyó también a modificar la visión que se tenía acerca de las posibilidades de la vida para colonizar ambientes harto distintos de los que actualmente predominan como marco de la biosfera. Es posible que tales estudios hayan contribuido o contribuyan en el futuro a modificar algunas de las maneras de considerar la contaminación del medio marino por diversos vertidos.

Las consideraciones anteriores no deben interpretarse como una invitación al fatalismo y a la desidia, principalmente porque entradas o perturbaciones locales muy importantes pueden no ser neutralizables. Hay que ver en aquellas simplemente una recomendación a no descuidar los estudios de base sobre el funcionamiento de nuestro planeta y tener en cuenta la «fisiología planetaria». Esto no se ha de echar en saco roto ahora que estamos en condiciones de amenazarla seriamente. Entradas o perturbaciones locales muy importantes pueden no ser neutralizables localmente. Ciertamente, hay que confiar en *«Gaia»,* que extreme su prudencia adquirida en una evolución millonaria en años y pueda poner siempre en juego más recursos que sus (¿incómodos?) inquilinos.

Al conjuro del nombre de Gaia acude a la mente otra consideración a propósito de la empresa en la que todos andamos, directa o indirectamente, metidos o comprometidos. La acción de la humanidad no se sale del funcionamiento normal y esperable en la biosfera. Esta, en promedio, continúa su actividad de transportar electrones, oxidando hacia arriba y reduciendo hacia abajo. El consumo (oxidación) de materiales reducidos en forma de combustibles fósiles, para no hablar ya de la madera, operan en sentido opuesto. El efecto global consiste ahora en el aumento de la concentración de CO_2 en la atmósfera. Esta sería nuestra contribución negativa a las tendencias expresables como el efecto Gaia. Lo que ahora cabe preguntarse con cierta alarma y en relación con la cuestión concreta que nos trae, es con qué grado de indiferencia o alarma debemos contemplar que una gran acumulación de poder reductor se haga en el mar. Ciertamente esto puede ser favorable para nuestra existencia cotidiana y demora la fecha en que pueda aparecer un problema grave; pero a la vez va cargando una bomba, que va a estallar cuando los océanos contengan una cantidad tan grande de CO_2 en solución, que cualquier inestabilidad de tipo mecánico pueda generar una catástrofe, que no sería la primera en su género.

BIBLIOGRAFÍA

ALBAIGÉS, J.; AUBERT, M. y AUBERT, J., 1989, *El Mediterráneo Occidental.* Ed. R. Margalef, Capítulo 10, pp. 320-357 (*Las huellas de la vida y del hombre*), Ediciones Omega, S. A., Barcelona.

COSTANZA, R., y colaboradores, 1997, The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature,* 387: 253-260.

GOLDSTEIN, J. S., 1998, *Long Cycles. Prosperity and War in the Modern age.* Yale Univ. Press, New Haven and London, 433 pp.

KAMPIS, G., 1991, *Self-modifying systems in biology and cognitive science. A new framework for dynamics, information and complexity.* International series on systems science and engineering, 6, PergamonPress, Oxford.

KELLY, K., 1998, Tht Third Culture. *Science,* 279: 992-993.

KITE-POWELL, H. L. and PORTER HOAGLAND, D. J., 1998, Policy, law, and public opposition: the prospects for abyssal ocean waste disposal in the United States. *J. Mar. Systems,* 14: 377-396.

LEVY, P., 1998, *Becoming virtual.* Plenum Press.

MARGALEF, R., 1970, Régimen futuro de los océanos. *Arbor,* 297-298: 49-61.

– 1997, El riu planetari. *Congrès de Metges i Biòlegs de llengua catalana.* Lleida, 1997.

– 1997, *Our Biosphere.* Excellence in Ecology. Institute of Ecology.

MARTÍNEZ ALIER, J., (with Klaus Schlüpmann), 1987, *Ecological Economics, Energy, Environment and Society.* Blackwell, Oxford, New York, 286 pp.

NADER, L., 1997, Controlling processes. Tracing the dynamic components of Power. *Current Anthropology,* 38: 711-737.

ROWE, G. T., 1998, Organic cargon cycling in abyssal benthic food chains, numerical simulation of bioenhancement by sewage sludge, *J. Mar. Systems,* 14: 337-353.

RUBIO, J., 1983, Sociobiología e interdisciplinariedad, pp. 115-152, en A. dou (edit.), *Evolucionismo y cultura.* Edic. Mensajero, Madrid, 278 pp.

SPENCER, D. W., 1991, *An abyssal ocean option for waste management. Report of a Wokshop held at the Woods Hole Oceanographical Intitution.* Jan. 7-10. Woods Hole, MA. 111 pp.

VALENT, P. J.; YOUNG, D. K.; SAWYER, W. B. and WRIGHT, T. D., 1998, Abyssal seafloor waste insolation: the concept. *J. Mar. Systems,* 14: 203-210.

EL MARCO TERMODINÁMICO PARA ILUMINAR LA SOCIEDAD ACTUAL

ANTONIO VALERO
Universidad de Zaragoza

INTRODUCCIÓN

Entiendo la Termoeconomía, en su más amplio sentido posible, como la ciencia que conecta la Termodinámica con la Economía. *Aquella ciencia que explica las bases físicas del coste y que liga al coste con los procesos físicos en los que el sacrificio de recursos está localizado, causalizado y cuantificado en términos de irreversibilidad termodinámica.* Dado que la irreversibilidad sólo es medible a través del Segundo Principio, y la magnitud más ampliamente utilizada en los cálculos de irreversibilidad es la exergía, también a la Termoeconomía se le llama Exergoeconomía. Sin embargo, la exergoeconomía ha sido utilizada en análisis microeconómicos para el diseño en óptimo energético-económico de sistemas térmicos y cuya ecuación fundamental es que dado un proceso, el coste del producto expresado en unidades monetarias por segundo.

$$\dot{C}_P \equiv c_P \dot{E}x_P = c_F \dot{E}x_F + \dot{Z}$$

siendo $\dot{E}x_P$ y $\dot{E}x_F$ la exergía por unidad de tiempo de los productos producidos y la de los recursos consumidos o fueles, $\dot{Z}$ el gasto de amortización del equipo en ese intervalo de tiempo y c_F el precio unitario de la exergía de cada fuel de entrada.

Aunque se puede decir que la expresión anterior marcó el nacimiento de la Termoeconomía (Evans and Tribus, 1965) incluso en cuanto a nombre, pienso que la palabra Termoeconomía y su contenido deben ir más allá del análisis microeconómico para la optimización de sistemas térmicos.

La Termoeconomía puede llegar a dar satisfacción al viejo sueño de los economistas de dar raíces físicas a la Economía. Situándose así en la transición entre el coste como destrucción física y medible de recursos y el coste como contabilidad analítica de los flujos monetarios directos e indirectos necesarios para producir un determinado producto o servicio.

La Termoeconomía, así entendida, tiene vocación integradora y explicativa. Trata de integrar y comprender otras metodologías del análisis energético como la Contabilidad Energética, la Contabilidad de la Energía Incorporada, el Análisis Exergético, el Análisis Emergético, el Análisis de Consumos Exergéticos Acumulados, los Análisis de Ciclo de Vida, el Análisis Input-Output, la Teoría de Sistemas Complejos y la Optimización Energética, entre otros. Y en su análisis da razones físico-matemáticas o al menos las busca para explicar las analogías y discrepancias de las distintas metodologías. Así los problemas de la «truncación» o elección de los límites de análisis; el problema de la búsqueda de una función que identifique la «calidad» de los flujos –o problema de la suma de manzanas con naranjas, como dicen Giampietro y Mayumi (1998)–; el problema de la asignación de costes en bifurcaciones o dilema de la producción conjunta; y el problema de la evaluación del coste de los residuos o evaluación del impacto ecológico; son los típicos problemas de la Termoeconomía. Esta ciencia de respuestas basadas en la aplicación lógica del Segundo Principio de la Termodinámica, en la búsqueda de las relaciones causa-efecto y de las cadenas de causalidad, y finalmente en un aparato matemático común al análisis económico convencional.

En este artículo, se describen los procedimientos de la Termoeconomía y se ponen de manifiesto las analogías, diferencias y discrepancias con otras metodologías que utilizan los balances energéticos/exergéticos para diversos fines. También se realiza un análisis crítico sobre la identificación de exergía con calidad y se presentan algunos de los problemas que la Termoeconomía tiene abiertos en su aplicación al cálculo de costes ecológicos.

La Termoeconomía, al dar respuestas termodinámicas y matemáticas a todas las metodologías de análisis energético desarrolladas hasta la fecha, es la ciencia que subyace a todas ellas. Por tanto no las suplanta sino que las fundamenta y se enriquece de todas ellas porque le suministra problemas teóricos y a su vez contribuye a clarificar los conceptos y avanzar más rápidamente en el campo conceptual de cada aplicación.

TEORÍA DEL COSTE EXERGÉTICO Y TERMOECONOMÍA

En 1986, publicamos la Teoría del Coste Exergético (TCEx). Desde entonces ha venido siendo utilizada por ingenieros termodinámicos para el análisis, diagnóstico, optimización y síntesis de sistemas energéticos complejos. El coste exergético de un producto, flujo o servicio, es la cantidad de exergía que ha sido necesaria para producirlo fijados unos límites de análisis. Hay que decir que la idea no es nueva. Ya los analistas energéticos de los años 70 y principios de los 80 propusieron conceptos como: costes energéticos, energía incorporada, energía final-energía primaria, emergía (Odum, 1988) y

más posteriormente y casi simultáneo con el concepto de coste exergético, Szargut (1988) propuso el de consumo acumulado de exergía.

Una de las aportaciones más interesantes de la teoría del coste exergético o teoría general del ahorro de exergía es su rigor físico-matemático. En efecto TCEx sigue las leyes de la termodinámica y de la matemática. De tal forma que la búsqueda de la objetividad en el problema de la asignación de costes en las bifurcaciones, ha sido mucho más analizado en los últimos años que las propias aplicaciones de la teoría. Esto es impensable en otros campos próximos como el Análisis Energético Industrial o en el análisis «Emergético» ya que estaban más interesados en los resultados y su implicación social y ecológica.

En efecto, mientras el primer principio es una ley de conservación que puede expresarse como un balance equilibrado de energía, en el segundo principio su balance no es nulo sino que lleva implícita la contabilidad de la degradación de los recursos exergéticos puestos en juego. Minimizar esa degradación es el objeto del ahorro y optimización exergéticas.

Para todo proceso:

$$En_{in} - En_{out} = 0 \quad (1)$$

$$Ex_{in} - Ex_{out} = Irreversibilidad > 0, \quad (2)$$

parece pues lógica una contabilidad exergética a lo largo de los procesos para ver la localización de las pérdidas.

Al fijar nuestro objeto de estudio en las pérdidas, podemos ver que existen dos tipos genéricos, aquellos que abandonan los límites del sistema en forma de emisiones gaseosas, líquidas o sólidas que llamaremos genéricamente residuos y aquellas pérdidas más sutiles –pero más importantes– asociadas a la pérdida de calidad de los procesos. Es decir, las pérdidas de presión sin ningún efecto útil, o diferencias finitas de temperatura en un proceso de transferencia de calor o de pérdidas por mezcla de dos corrientes puras. En estos casos notamos que todos son procesos irreversibles y que para recuperar la presión, temperatura o composición iniciales sería necesario consumir más recursos exergéticos.

Las pérdidas de «cantidad» de energía que atraviesan la frontera de un sistema pueden analizarse utilizando el primer principio

$$(En)_{in} - (En)_{out} = (En)_{residuos} \quad (3)$$

Sin embargo las pérdidas de «calidad» de la energía no son detectables más que con el segundo principio:

$$(Ex)_{in} - (Ex)_{out} = I_{ext} + I_{int}, \quad (4)$$

donde I_{ext} es la exergía de los residuos que abandonan el sistema e I_{int} es justamente el objeto del cierre de balance y mide las pérdidas de calidad experimentadas en el proceso.

Es evidente que un análisis energético basado en el primer principio no será capaz de localizar dónde se producen las pérdidas *dentro* del proceso. Si el objeto de estudio no es la optimización, sino un análisis macro, comparativo de diferentes sistemas, está más que justificada la falta de mayor profundidad.

Por el contrario, cuando queremos *localizar la causa física* de las pérdidas es fundamental estudiar en detalle los mecanismos que las generan. Por ello se necesita un análisis lo más desagregado posible del sistema en el que se vean las causas últimas que producen esas pérdidas de calidad que en última instancia van a provocar la producción de flujos residuales en alguna otra parte del sistema.

Nótese que el segundo principio no es propositivo. Indica que los sistemas se degradarán y que lo harán siguiendo el camino de la máxima entropía. Es un principio direccional pero no propositivo, porque no busca el beneficio de algo contra algo. Sin embargo en los sistemas creados por el hombre sí que buscamos un propósito eficiente y es el de poner la energía y los materiales a nuestro servicio. Esto es algo que compartimos con todos los seres vivos, y como dijo N. Georgescu-Roegen (1971) el propósito final es el disfrute de la vida.

Por tanto, el segundo principio sólo constata las pérdidas de un proceso, pero es el hombre y el ser vivo, en general, que consciente o inconscientemente están imponiendo el objeto del proceso. Es decir, aparece una clasificación implícita de los flujos que atraviesan la frontera de un sistema entre aquellos que son objeto de producción, aquellos que son residuales y aquellos que son los recursos necesarios para llevar a cabo el proceso productivo. Esta información no está implícita en el segundo principio y es el salto conceptual más importante que separa y a la vez une a la física con la economía.

Escribir la ecuación

$$Ex_{recursos} - Ex_{productos} = Ex_{residuos} + Irreversibilidad, \tag{5}$$

es haber saltado para siempre la barrera de la física para pasar al terreno de la economía. Es haber saltado del mundo de lo cuantitativo, preciso y mensurable al mundo de lo opinable, subjetivo y valorable. La emergencia del concepto de eficiencia como

$$Eficiencia = \frac{Producto}{Recursos}, \tag{6}$$

siempre será controvertida pero necesaria si queremos entender los procesos tecnológicos.

Una vez aceptada la eficiencia como concepto antrópico, la termoeconomía, es decir la ciencia del ahorro de energía que sirve de base y conexión entre la termodinámica y la economía se desarrolla sin dificultades conceptuales.

En efecto, si llamamos F a los recursos exergéticos puestos en juego en un proceso, P a la exergía de los productos obtenidos, R a la exergía de los flujos residuales e I a la irreversibilidad producida, entonces

$$F - P = R + I_{int} = I_{total} \geq 0 \tag{7}$$

Y la eficiencia exergética del proceso será:

$$\eta = P/F \tag{8}$$

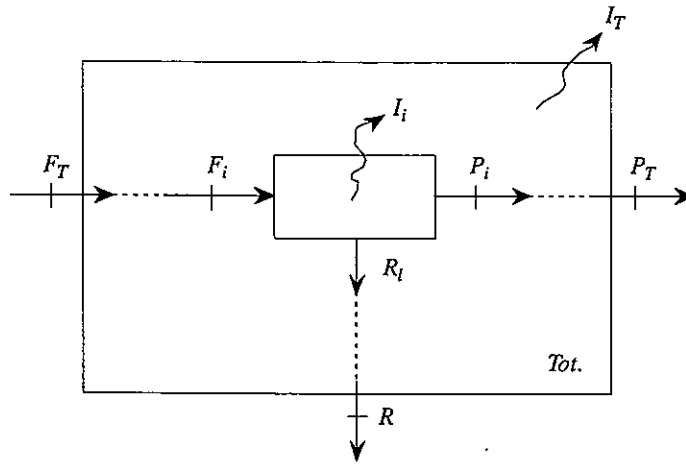
Nótese que la inversa de la eficiencia, es el consumo unitario de recursos para producir P.

$$k = 1/\eta = F/P \tag{9}$$

Dado que la exergía –en términos prácticos– es una cantidad no negativa y que sólo en un mundo «termoutópico» existen procesos reversibles, siempre el consumo exergético unitario y la eficiencia termodinámica van a cumplir:

$$k > 1 \,, \qquad 0 < \eta < 1 \tag{10}$$

Como el recurso –o en terminología termoeconómica, fuel– ha sido producto de algún proceso anterior, y también todo producto de un proceso será utilizado como recurso de algún proceso posterior, es importante analizar el proceso global con la siguiente figura:



Al hacerlo, se descubren algunos aspectos adicionales básicos. Así, dado un sistema con unos límites, un nivel de agregación que especifica los subsistemas que lo componen y con una eficiencia definida es posible calcular la exergía incorporada o «coste exergético» necesario para producir todos y cada uno de los flujos que interactúan en el sistema. Si $F_{T,i}$ es la fracción de recursos entrantes al sistema necesarios para producir P_i, entonces su coste exergético unitario será

$$k_i^* \equiv F_{T,i}/P_i = P_i^*/P_i \tag{11}$$

El coste exergético unitario es adimensional. Por simplificación nombraremos con un asterisco al coste exergético indicando por ejemplo P_i^* al valor $F_{T,i}$. Así que el coste exergético, P_i^*, *(kW)*, del producto intermedio *i*, P_i *(kW)*, de un proceso, será justamente la cantidad de exergía de los recursos necesaria para producirla.

Nótese que el valor obtenido del coste exergético va a depender en primera instancia de la definición de los límites del sistema (problema de la truncación), en segundo lugar de la eficiencia de todos y cada uno de los subprocesos que lo componen y en tercer lugar de la propia referencia elegida para definir la exergía de todos y cada uno de los flujos que interactúan.

El coste exergético es el precursor del coste económico medido éste en unidades monetarias ya que multiplicando por el precio de mercado de los recursos puestos en juego es posible convertirlo en unidades monetarias. Su cálculo puede seguir un procedimiento paralelo al método Input-Output de Leontieff (1970) que luego describiré en sus detalles relevantes.

El coste exergético es una «propiedad emergente» que no existe en el producto, flujo o servicio en sí, es decir no es medible a partir de las propie-

dades físicas del producto o servicio. Ni su masa, velocidad, composición, forma o tamaño nos dirán su coste. La medida no se realiza sobre el sujeto sino sobre las circunstancias que dieron origen a su producción. Esta es la razón de lo elusivo del concepto, pero ello no significa que no pueda realizarse ciencia cuantitativa ni mensurable.

Por ello, es el *«proceso de formación del coste»* uno de los problemas más interesantes de la termoeconomía que hace que los especialistas se detengan más en un análisis crítico de las leyes que subyacen en él, que en un uso utilitario de los cálculos de costes. Ello también ha influido en la falta de diálogo entre los distintos analistas energéticos que han centrado sus objetos de estudio en problemas diferentes pero con metodologías parecidas.

Como resumen de esta sección hemos visto la evolución de los conceptos desde la termodinámica a la termoeconomía y de allí a la economía:

$$\textit{Segundo Principio} \rightarrow \textit{Eficiencia} \rightarrow \begin{array}{l}\textit{Consumo}\\ \textit{exergético}\\ \textit{unitario}\end{array} \rightarrow \begin{array}{l}\textit{Coste}\\ \textit{exergético}\end{array} \rightarrow \begin{array}{l}\textit{Coste}\\ \textit{monetario}\end{array} \qquad (12)$$

También hemos visto cómo el análisis de costes exergéticos no es reduccionista por el hecho de realizar un análisis micro sobre los procesos que componen un sistema de producción dado. Ello se debe a que la búsqueda de las causas de las pérdidas está íntimamente ligada a los mecanismos microscópicos de la degradación pero la acumulación de esas pérdidas a lo largo de un proceso productivo ya lleva embebido el concepto de propósito, que es algo que no está en los principios de la termodinámica pero que se acepta como un postulado más en la termoeconomía.

La definición del «proceso de formación del coste» es el paradigma de la Termoeconomía (Valero, 1990). La búsqueda de las leyes que gobiernan la formación del coste es central. Estas leyes devendrán en reglas de asignación de costes cuando se analicen casos prácticos.

Finalmente un postulado importante de la termoeconomía es que el coste, que es algo físicamente medible, es donde la física conecta mejor con la economía. En otras palabras que el coste termodinámico o exergético es el precursor del coste económico. La termoeconomía no tiene nada que decir de la formación de precios ni menos aún de los valores. Sólo está interesada en el proceso de formación del coste.

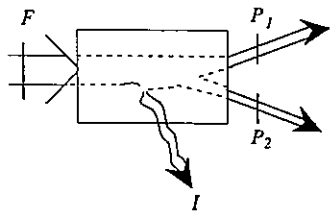
EL PROBLEMA DE LA ASIGNACIÓN DE COSTES EN BIFURCACIONES

Cuando los procesos son secuenciales y producen un producto único, el cálculo de costes es un proceso simplemente acumulativo. El problema aparece cuando en un subsistema se generan dos productos (flujos) a la vez.

¿Cómo asignar costes? Este es un problema común a todos los tipos de análisis energéticos. Siempre se busca una magnitud que caracterice razonablemente el valor de los flujos y se asignan los costes proporcionalmente a ella, como es bien conocido. Dado que la exergía es la propiedad que define mejor que nadie la equivalencia termodinámica de cualquier flujo energético con respecto a un ambiente de referencia, la termoeconomía –llamada también exergoeconomía– los reparte proporcionalmente a la exergía.

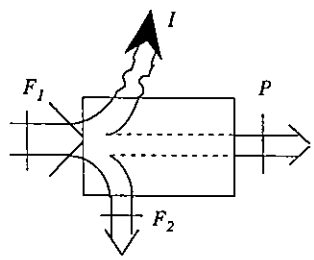
Como es conocido también, el análisis «emergético» no reparte, sino que asigna a ambos flujos bifurcados la misma cantidad de energía que había sido necesaria para fabricar el recurso. Por el contrario los análisis de energía incorporada lo hacen en proporción a la energía. Ver por ejemplo Brown y Harendeen (1996). Mientras que en los análisis del ciclo de vida se deja al analista el criterio más adecuado de reparto.

Elegir la exergía como magnitud de reparto no es suficiente, ya que los criterios de eficiencia, propósito productivo y desagregación juegan un papel fundamental. En efecto, si dos productos se producen en el mismo lugar y con la misma calidad es lógico que asignemos los costes de producción en proporción a la cantidad de cada uno de ellos (Regla P). Por el contrario si un recurso no termina de exhaustarse y sale del proceso habiendo cedido parte de su exergía para producir el producto, entonces es lógico que cada unidad de exergía del recurso, haya sido exhaustada o no, tengan el mismo coste unitario (Regla F).



$$k^*_{P_1} = k^*_{P_2} \text{ o bien } \frac{P_1^*}{P_1} = \frac{P_2^*}{P_2} \qquad \text{(Regla P)} \qquad (13)$$

$$\eta = 1/k = (P_1 + P_2)/F$$



$$k^*_{F_1} = k^*_{F_2} \text{ o bien } \frac{F_1^*}{F_1} = \frac{F_2^*}{F_2} \qquad \text{(Regla F)} \qquad (14)$$

$$\eta = 1/k = P/(F_1 - F_2)$$

Es decir, que la definición de eficiencia juega un papel fundamental en el proceso de cálculo de los costes exergéticos medios. Desafortunadamente el problema no se resuelve aún, ya que muchas veces se pueden producir varios

productos que no son de igual naturaleza –por ejemplo etileno y electricidad en una planta química– ni se producen simultáneamente, ni tienen el mismo valor.

La respuesta a ese problema que da la termoeconomía es la desagregación. Hay que buscar cómo se han formado los flujos, qué clase y cuánta exergía se ha consumido en los procesos y dónde la han consumido. A este proceso se le denomina *definición de la estructura productiva.* Una definición más detallada seguramente será muy precisa pero se corre el riesgo de no disponer de datos medidos que corroboren la sensibilidad de los costes obtenidos a variaciones en esos datos. En la definición de estructuras productivas y en la manera de desagregar los procesos es donde mayores discrepancias o «teorías» se dan entre los practicantes del análisis termoeconómico.

El problema, sin embargo aún no está resuelto, porque los *residuos* no se pueden asignar con las reglas anteriores, F o P. De hecho los residuos tienen un coste negativo ya que *cuesta* deshacerse de ellos, incrementando así los costes de la producción. La idea subyacente es que además de la ecuación

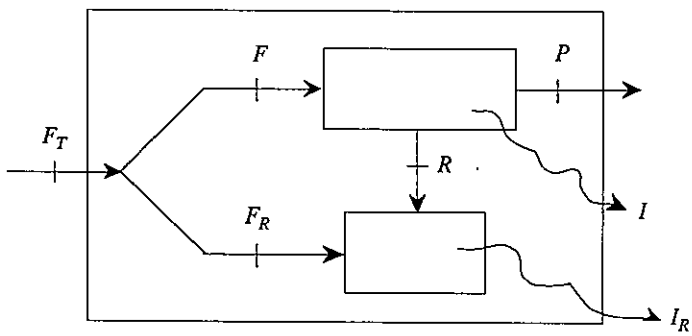
$$F - P = R + I, \tag{15}$$

existe la ecuación adicional

$$F_R + R = I_R\ , \tag{16}$$

que da cuenta de la cantidad de recursos adicionales, F_R, necesarios para eliminarlos. De tal manera que la ecuación final resulta en:

$$(F + F_R) - P = (I + I_R) \quad \text{o} \quad F_T - P_T = I_T$$



(17)

En la búsqueda de las causas de la producción de residuos se detectan dos fenómenos muy interesantes. El primero que al igual que existe el proceso de formación del coste de los productos, existe el *proceso de formación del coste de los residuos*, y por tanto coexisten en todo sistema energético la estructura productiva y la estructura residual. El segundo es que dado el carácter negativo de los costes de los residuos, la estructura residual apunta sus flechas en la dirección opuesta a los flujos físicos residuales. Por ejemplo, ni los costes de poner una chimenea ni un ventilador para evacuar los gases en una caldera deben imputarse al último equipo que recuperó parte de su exergía antes de expulsarlos. Deben ser asignados a la verdadera naturaleza del proceso de combustión térmica que convierte la exergía química del combustible en exergía térmica de los gases. La búsqueda del proceso de formación del coste de los residuos es llevar hasta sus últimas consecuencias lo que se llama convencionalmente proceso de *internalización de los costes de los residuos.*

También aquí se necesita una propiedad sobre la que repartir costes proporcionalmente a aquellos procesos que los han generado. Un método cada vez más extendido consiste en repartir en función de la entropía generada en cada subproceso. Así que la «negaentropía», $T_0 S_g$, juega un papel fundamental junto con la exergía en el análisis termoeconómico, siguiéndose las mismas reglas *F* y *P* explicadas anteriormente pero sobre la estructura residual suficientemente desagregada, es decir causalizada.

SOBRE LA LINEALIDAD DE LOS COSTES

Hemos visto que repartir costes en proporción a la exergía puede no ser suficiente, porque una planta en su máximo nivel de agregación puede producir varios productos y nadie cabalmente trataría de distribuir costes en proporción a la exergía de los mismos. Un caso concreto podría ser una planta de producción de vidrio que vendiera vapor a una industria vecina. El vidrio, una vez enfriado tiene una exergía prácticamente nula ya que termodinámicamente está en un estado metaestable próximo a la exergía de la arena del que procede. Mientras que el vapor sí que la contiene, así que según ello todos los costes irían a parar al vapor y no al vidrio. Es evidente que hay que desagregar el sistema y ver tanto el proceso de formación del coste de los productos como el de los residuos. Pero aún así surge la pregunta de la *proporcionalidad.* ¿Por qué se busca la linealidad en la asignación de costes?

La respuesta a este problema puede encontrarse desde un punto de vista matemático. Supongamos un sistema energético cualquiera que consume unos recursos y produce unos productos que se pueden caracterizar mediante una función termodinámica *E* del tipo genérico, $E=m\ (h-T_x\ s)$ siendo *m* la masa, *h* y *s* su entalpía y entropía con respecto a alguna referencia y T_x una

temperatura a elegir. Nótese que si T_x es cero la función E es la energía, si T_x es la temperatura ambiental, E deviene en la exergía, y si T_x es la temperatura del sistema E será la función de Gibbs.

Podemos describir el comportamiento matemático de este sistema mediante funciones del tipo:

$$E_i = f_i\left(\{x\},\ E_j\right) \qquad \begin{matrix} \text{i} = 1\ldots \text{número de entradas al sistema} \\ \text{j} = 1\ldots \text{número de salidas del sistema} \end{matrix} \tag{18}$$

siendo $\{x\}$ el conjunto de parámetros internos que lo gobiernan.

Estos pueden ser eficiencias internas, relaciones de presión, incrementos de temperatura, parámetros geométricos y estructurales, fluidodinámicos y de transferencia de calor, etc. En el análisis económico convencional este tipo de funciones sería equivalente a las funciones de producción.

Esta función está genéricamente lejos de relacionar proporcionalmente las entradas con las salidas. Dado que nuestro único grado de libertad es la elección de T_x, es decir, la elección de la energía, la exergía, la función de Gibbs o cualquier función, lo más probable será que no podremos reducir la complejidad del sistema a una relación lineal.

Sin embargo, toda función por compleja que sea, puede descomponerse en intervalos lineales suficientemente pequeños. Cuanto más pequeños más próximo será el comportamiento propuesto al real. Al desagregar los sistemas estamos tratando por tanto de buscar funciones del tipo

$$E_i = k_{i1}\, E_1 + k_{i2}\, E_2 \ , \tag{19}$$

que relacionen las entradas con las salidas de una forma lineal y que los parámetros k_{ij} sean los parámetros internos sustitutivos para cada subsistema identificado.

Las mejores estructuras productiva y residual de un sistema serán aquellas que mejor representen su comportamiento global bajo una descomposición lineal.

Por analogía, los coeficientes k_{ij} toman el nombre de coeficientes técnicos de producción de la teoría Input-Output de Leontieff (1970) y transformidades en el análisis emergético de Odum (1988). Nosotros los llamamos *consumos unitarios* (medios) del recurso *i* para producir el producto *j*.

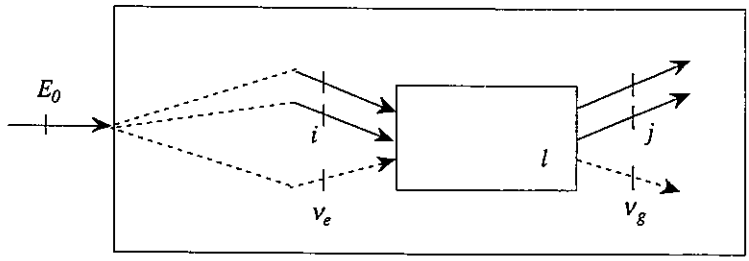
La ventaja del análisis lineal es que permite entender muchas de las hipótesis subyacentes en toda teoría de asignación de costes. En efecto, gracias a la linealidad, los coeficientes k_{ij} coinciden con las derivadas –ceteris paribus– del tipo

$$k_{ij} = \left(\frac{\partial E_i}{\partial E_j}\right)_{\left(E_n, k_{in}\right)\ constant} \tag{20}$$

o bien

$$E_i = \sum_{j=1}^{v_g} \left(\frac{\partial E_i}{\partial E_j} \right) E_j \qquad \begin{array}{l} i = 1 \ldots \; v_e = \text{nº de entradas al subsistema "}l\text{"} \\ v_g = \text{nº de salidas del subsistema "}l\text{"}. \end{array} \tag{21}$$

Esta expresión la denominamos ecuación característica.



Por otra parte, la planta globalmente considerada recibirá unos recursos, sean estos E_0. Si identificamos el coste unitario con la derivada

$$k_i^* = \left(\frac{\partial E_0}{\partial E_i} \right)_{ceteris\ paribus} \tag{22}$$

es matemáticamente evidente que en cada subsistema se cumple:

$$\left(\frac{\partial E_0}{\partial E_j} \right) = \left(\frac{\partial E_i}{\partial E_j} \right) \left(\frac{\partial E_0}{\partial E_i} \right) \tag{23}$$

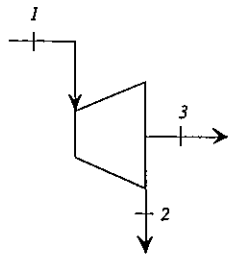
es decir

$$k_j^* = k_{ij}\, k_i^* \tag{24}$$

o lo que es lo mismo, la relación de costes entre las entradas y las salidas se establece a través de los consumos unitarios. Y la asignación de costes es una simple aplicación de la regla de la cadena en el cálculo de derivadas.

La aplicación de esta ecuación permite explicar como casos particulares las reglas *F* y *P* citadas anteriormente.

En efecto, supongamos una turbina cuya eficiencia puede proponerse como



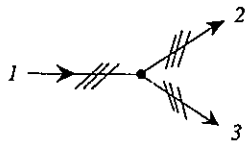
$$\eta = \frac{P}{F} = \frac{Ex_3}{Ex_1 - Ex_2} \equiv 1/k \quad \text{ó} \quad Ex_1 = Ex_2 + k\,Ex_3 \tag{25}$$

Si mediante simulaciones de la turbina y en un intervalo de trabajo razonablemente pequeño suponemos que k es constante, al aplicar la ecuación de costes unitarios (23) se obtiene que los costes de las salidas *2* y *3* son:

$$k_3^* = k\,k_1^* \quad \text{y} \quad k_2^* = k_1^* , \tag{26}$$

es decir, se obtiene la proposición F que establece que si un recurso no ha sido totalmente consumido (flujo 2), su coste unitario es igual al del recurso de entrada.

Por otra parte si consideramos un típico sistema de distribución de energía eléctrica, cuya eficiencia puede proponerse como



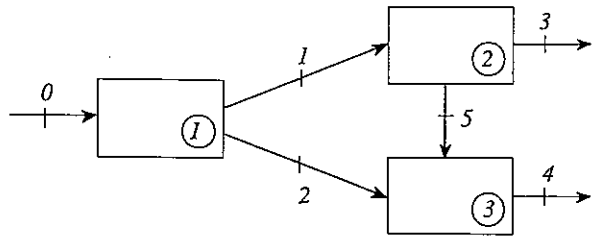
$$\eta = \frac{P}{F} = \frac{Ex_2 + Ex_3}{Ex_1} \equiv 1/k \quad \text{ó} \quad Ex_1 = k\,Ex_1 + k\,Ex_2 \tag{27}$$

y si k es suficientemente constante, al aplicar la ecuación de costes unitarios resulta

$$k_2^* = k\,k_1^* \quad \text{y} \quad k_3^* = k\,k_1^* \quad \text{o bien} \quad k_2^* = k_3^* \tag{28}$$

que es la proposición P, de igualdad de costes unitarios de los productos de igual naturaleza producidos en el mismo proceso.

En general supongamos un proceso como el de la figura



cuya degradación permite proponer las ecuaciones lineales siguientes

$$\left.\begin{array}{l} E_0 = k_{01}\,E_1 + k_{02}\,E_2 \\ E_1 = k_{13}\,E_3 + k_{15}\,E_5 \\ E_2 = k_{24}\,E_4 \\ E_3 = \omega_3\ (const.) \\ E_4 = \omega_4\ (const.) \\ E_5 = k_{54}\,E_4 \end{array}\right] \quad \text{o} \quad \left[\begin{array}{l} E_0 = \dfrac{\partial E_0}{\partial E_1}E_1 + \dfrac{\partial E_0}{\partial E_2}E_2 \\ E_1 = \dfrac{\partial E_1}{\partial E_3}E_3 + \dfrac{\partial E_1}{\partial E_5}E_5 \\ E_2 = \dfrac{\partial E_2}{\partial E_4}E_4 \\ E_3 = const. \\ E_4 = const. \\ E_5 = \left(\dfrac{\partial E_5}{\partial E_4}\right)E_4 \end{array}\right. \tag{29}$$

entonces, por la regla de la cadena de la derivación permite escribir que

$$\left.\begin{array}{l} \dfrac{\partial E_0}{\partial E_0} = 1 \\ \dfrac{\partial E_0}{\partial E_1} = \dfrac{\partial E_0}{\partial E_1}\dfrac{\partial E_0}{\partial E_0} \\ \dfrac{\partial E_0}{\partial E_2} = \dfrac{\partial E_0}{\partial E_2}\dfrac{\partial E_0}{\partial E_0} \\ \dfrac{\partial E_0}{\partial E_3} = \dfrac{\partial E_1}{\partial E_3}\dfrac{\partial E_0}{\partial E_1} \\ \dfrac{\partial E_0}{\partial E_4} = \dfrac{\partial E_2}{\partial E_4}\dfrac{\partial E_0}{\partial E_2} + \dfrac{\partial E_5}{\partial E_4}\dfrac{\partial E_0}{\partial E_5} \\ \dfrac{\partial E_0}{\partial E_5} = \dfrac{\partial E_1}{\partial E_5}\dfrac{\partial E_0}{\partial E_1} \end{array}\right] \quad \text{o} \quad \left[\begin{array}{l} k_0^* = 1 \\ k_1^* = k_{01}\,k_0^* \\ k_2^* = k_{02}\,k_0^* \\ k_3^* = k_{13}\,k_1^* \\ k_4^* = k_{24}\,k_2^* + k_{54}\,k_5^* \\ k_5^* = k_{15}\,k_1^* \end{array}\right. \tag{30}$$

En forma matricial ambos sistemas de ecuaciones pueden escribirse como

$$\begin{bmatrix} \\ E \\ \\ \\ \\ \\ \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & k_{01} & k_{02} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & k_{13} & 0 & k_{15} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & k_{24} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & k_{54} & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \\ E \\ \\ \\ \\ \\ \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ \omega_3 \\ \omega_4 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (31)$$

o bien $E = (K)\, E + \Omega$ (32)

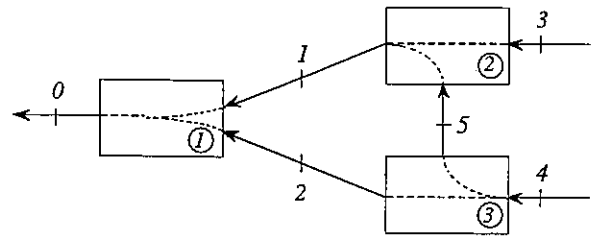
$$\begin{bmatrix} \\ k^* \\ \\ \\ \\ \\ \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ k_{01} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ k_{02} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & k_{13} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & k_{24} & 0 & 0 & k_{54} \\ 0 & k_{15} & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \\ k^* \\ \\ \\ \\ \\ \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (33)$$

o bien $K^* = {}^t(K)\, K^* + K^*_0$ (34)

Puede observarse que la matriz de consumos unitarios *(K)* es común y está transpuesta entre ambas ecuaciones (32) y (34).

La ecuación (32) se llama *primal* de la estructura y la ecuación (34) toma el nombre de *dual*. Toda estructura productiva o interpretación lineal input-output de un sistema toma una representación primal a quien le corresponde un único dual y viceversa.

Mientras que las flechas en el proceso productivo apuntan desde los recursos hacia los productos, los costes –o dual– apuntan desde los productos hacia los recursos



El coste busca el origen, la producción el destino.

Nótese también que para cada subsistema se cumple que:

$$\left.\begin{array}{l} ① \; k_0^* E_0 = k_1^* E_1 + k_2^* E_2 \\ ② \; k_1^* E_1 = k_3^* E_3 + k_5^* E_5 \\ ③ \; k_2^* E_2 + k_5^* E_5 = k_4^* E_4 \end{array}\right] \quad \text{o} \quad \left[\begin{array}{l} E_0^* = E_1^* + E_2^* \\ E_1^* = E_3^* + E_5^* \\ E_2^* + E_5^* = E_4^* \end{array}\right] \tag{35}$$

y si definimos la matriz de incidencia de la planta como la matriz cuyos elementos a_{ij} valen *1* si el flujo *j* entra al subsistema *i*, «*-1*» si sale y «*0*» si no interactúan, entonces para el caso analizado:

$$A = \begin{bmatrix} +1 & -1 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & +1 & 0 & -1 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & +1 & 0 & -1 & +1 \end{bmatrix} \tag{36}$$

y en general

$$A E^* = 0 \tag{37}$$

ésta es la ecuación de conservación de costes, es decir que los costes de los flujos de entrada de todo subsistema se repercuten íntegramente entre todos los flujos de salida.

Ésta es una consecuencia matemática de las hipótesis realizadas y la teoría de Odum del análisis emergético no la cumple ya que considera que cuan-

do se producen dos productos simultáneamente, la misma energía solar se necesita para uno que para otro [véase p. ej. Odum (1988) y Brown y Herendeen (1996)].

De la misma manera una teoría no lineal tampoco permitiría la ecuación (37) ya que el primal sería del tipo

$$dE_i = \sum_j \left(\frac{\partial E_i}{\partial E_j} \right) dE_j \tag{38}$$

y no como la ecuación (21). Sin embargo la ecuación (38) anterior permite generalizar la teoría [véase p. ej. Valero, Serra and Lozano (1993)] en el que los costes son los multiplicadores de Lagrange de un programa de optimización.

Por otra parte, nada impide que los flujos que caracterizan las interacciones entre los subsistemas representen sólo energía. También pueden ser interacciones monetarias, p. ej. los costes de amortización de los subsistemas o interacciones de información, p. ej. señales de control, o interacciones temporales con objeto de analizar el tiempo que ha costado producir un determinado producto (Valero (1995)). Los mismos datos de los coeficientes técnicos de Leontieff han sido utilizados para ver el impacto en CO_2, SO_2, energía solar, etc. (Alcántara (1995)). En otras palabras, y como es bien conocido, la teoría input-output puede ser multiplemente aplicada y generalizada.

Sin embargo, ¿qué caracteriza a los costes exergéticos más allá de otros costes que puedan definirse en un sistema?

En mi opinión es su entroncamiento natural con el segundo principio que como hemos visto es el que da cuenta de las pérdidas reales que acontecen en un sistema –pérdidas internas o de calidad y externas–.

Toda la termodinámica del equilibrio para sistemas abiertos puede resumirse en las ecuaciones siguientes:

$$\text{Balance de materia:} \quad \boldsymbol{A\,M = 0} \tag{39}$$

$$\text{Balance de energía} \quad \boldsymbol{A\,H = 0} \tag{40}$$

$$\text{Balance de exergía:} \quad \boldsymbol{A\,Ex = I} \tag{41}$$

donde, $\boldsymbol{M}$, $\boldsymbol{H}$, $\boldsymbol{Ex}$ son unos vectores cuyos elementos son la masa, entalpía y exergía de los flujos materiales m_i, $m_i\,h_i$, $m_i\,(h_i - T_0\,s_i)$; cero, Q, $Q\,(1-T_0/T)$ si son flujos de calor; y cero, W, W si son flujos interactuantes de trabajo. Obsérvese el extraordinario paralelismo con la ecuación (37) de los costes, $\boldsymbol{AE^*=0}$.

Para conectar la exergía con los costes exergéticos existe, como ya hemos dicho, un salto conceptual de la mayor importancia. Y es el de clasificar los

flujos en fueles o recursos, F, productos P y residuos (R), junto con desagregar suficientemente el sistema como para reconocer la linealidad en cada uno de los subsistemas que lo componen. Entonces y sólo entonces el segundo principio deviene en:

$$\boldsymbol{F - P = I} \tag{42}$$

La ecuación (42) es algo más que el Segundo Principio (41), porque en ella ya se han localizado, asignado y cuantificado la causalidad (Valero et al, 1990). F sería la «causa materialis», P la «causa finalis», I la «causa efficiens» y A la «causa formalis» aristotélicas.

Si la eficiencia o su inversa son constantes en un rango de trabajo, entonces su propia definición sirve como ecuación característica. Es decir

$$F = k\,P\ , \tag{43}$$

y combinando con la ecuación (42) se obtiene

$$I = (k-1)\,P\ , \tag{44}$$

que relaciona la irreversibilidad con el consumo exergético unitario y la producción. O dicho en palabras de la teoría input-output, relaciona los coeficientes técnicos con la verdadera destrucción de energía utilizable que tiene lugar en todo proceso productivo. Es decir, relaciona la termodinámica con la economía, pero sin salir del campo de la física al no utilizar aún unidades monetarias.

Y el concepto de coste exergético cobra todo su sentido cuando en el subsistema se produce una malfunción, es decir un incremento en su degradación exergética, a producción constante. En efecto:

$$dI = P\,d\,k = dF \qquad (P = const.) \tag{45}$$

y como hemos visto el coste exergético se define como

$$k_F^* = \left(\frac{\partial F_T}{\partial F}\right)_{ceteris\ paribus} \tag{46}$$

siendo F_T la cantidad de recursos entrantes al sistema global, entonces

$$dF_T = k_F^*\,P\,d\,k = k_F^*\,dI \tag{47}$$

o aproximadamente $$\Delta F_T \equiv k_F^* P \Delta k \equiv k_F^* \Delta I \ , \tag{48}$$

lo que permite estimar el impacto en recursos físicos que entran en la planta cuando tiene lugar una malfunción en algún subsistema determinado, sin más que medir el consumo exergético anterior y posterior a la malfunción.

El coste exergético relaciona la irreversibilidad local con el consumo global de recursos físicos que entran a un sistema. Un sistema bien desagregado, con una estructura productiva que representara con suficientemente precisión su comportamiento global, sería posible optimizar localmente un subsistema sin necesidad de tener en cuenta las interacciones con los otros subsistemas.

Finalmente, el dual de la ecuación característica (43) es

$$k_P^* = k_F^* k \ , \tag{49}$$

y combinando con (44) se obtiene

$$\Delta k^* \equiv k_P^* - k_F^* = k_F^* \frac{I}{P} \ , \tag{50}$$

que indica que en toda estructura física los costes exergéticos van aumentando tanto más cuanto más avanzado esté el proceso y cuanto mayor sea la irreversibilidad producida en el subsistema por unidad de producto. Tanto más irreparable es la destrucción cuanto más avanzada sea ésta en la cadena productiva. El coste, la eficiencia termodinámica y la irreversibilidad quedan así ligados en un cuerpo teórico.

PROBLEMAS CON LA EXERGÍA

No conviene mitificar la exergía, sólo mide el número de veces que un producto es termodinámicamente equivalente a otro. No es sólo, como se ha dicho erróneamente, la capacidad de producir trabajo de un flujo. Cualquier manifestación energética que no esté en equilibrio con el ambiente, tiene exergía, por tanto la exergía puede medirse en unidades de gas natural, o en unidades de vapor a una determinada temperatura y presión, o en energía cinética, magnética, potencial, etc. La exergía es la medida del valor termodinámico de un flujo con respecto al ambiente de referencia. Pero no es la medida del *valor* que le damos a las cosas. Un vaso roto tiene prácticamente la misma exergía que uno nuevo, y la exergía química del oro es cero. Y yo prefiero un gramo de diamante que uno de grafito puro aunque tengan prácticamente la misma exergía.

Tampoco el coste exergético es una media del valor porque si en una planta que produjera, por ejemplo, hilo continuo de unas determinadas pro-

piedades, se rompiera el hilo, prácticamente la misma exergía costaría producir el hilo continuo que el partido, sin embargo éste último no sería vendible.

La exergía reduce a un único valor numérico algo que la mayor parte de las veces es irreducible. El color, el sabor, la forma, la textura o la impresión artística, por decir algunas propiedades de la materia que el ser humano valora, no son distinguibles en términos prácticos con la exergía. Por tanto la exergía y el coste exergético son una medida más de la realidad que no deben suplantar otros análisis posibles.

¿Puede hacerse una aproximación termodinámica al concepto de valor? ¿Tiene sentido ir más allá del coste exergético a la hora de conocer el coste de las cosas?

Se ha afirmado muchas veces que la exergía es una medida de la calidad de las cosas. Es falso, es una medida del desequilibrio energético que un sistema tiene respecto de un ambiente de referencia. Es en todo caso una medida de la calidad termodinámica de la energía, no de las cosas. El problema de la especificación de la calidad es mucho más complejo. Una dosis de monóxido de carbono, *CO*, puede tener la misma exergía que una determinada cantidad de alimento, pero yo sé qué prefiero si tengo que ingerirlos o bien si tengo que quemarlos en una caldera. Un mismo alimento puede presentar un aspecto repugnante o extraordinario y contener la misma exergía. Se pueden poner tantos ejemplos que uno está tentado a pensar que lo extraño es pensar que la exergía pueda confundirse con la calidad.

En primer lugar la calidad necesita muchas especificaciones que la exergía reduce a pocas, como presión, temperatura, composición, altura, velocidad y algunas más. En realidad hablar de calidad es fijar unas especificaciones para que en el intercambio de productos y servicios sepamos a qué atenernos. La calidad depende del contexto, la exergía no. La equivalencia termodinámica no se puede tomar como medida de la equivalencia de valores. Incluso las circunstancias y el momento hacen que una cosa valga más o menos. Hay que huir de un neo-energeticismo o mejor aún exergeticismo que proponga a la exergía como medida del valor de las cosas en contraposición con su valor monetario. La exergía y el coste exergético dan información complementarias sobre la huella del hombre sobre la Tierra, ignorarlos es tan peligroso como ensalzarlos como instrumento único de gestión de los recursos naturales y del medio ambiente.

A pesar de ello pienso que el segundo principio no ha agotado su mensaje con la exergía. La ecuación

$$F - P = I + R \tag{51}$$

es también una ecuación de valor, porque es un problema de especificaciones decir de identificar qué es producto y qué es residuo y qué es recurso utiliza-

ble y cuáles no. Lo seguro es que en todo proceso se habrá producido una irreversibilidad que por el teorema de Gouy-Stodola vale

$$I = T_0 S_g \ , \tag{52}$$

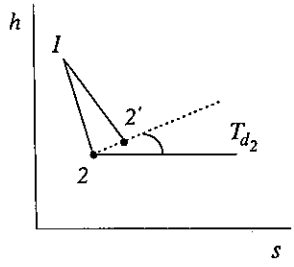
que lo liga con la entropía generada en el proceso.

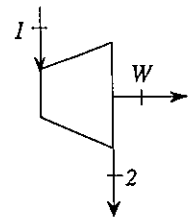
Sea cual sea la forma de definir la *calidad* –una suerte de función exergética generalizada–, en todo flujo, producto o servicio puede identificarse su *cantidad* producida. Así que la magnitud de una propiedad X siempre es un producto de la cantidad q_x por su calidad específica, x:

$$X = q_x x \tag{53}$$

Dadas unas especificaciones de calidad para todos y cada uno de los flujos que interactúan en un sistema, *lo que interesaría es ver el efecto que tiene una degradación del mismo sobre la cantidad de recursos puestos en juego a igualdad de producción.* Porque una manera de entender el Segundo Principio es relacionando degradación con cantidad de recursos consumidos, algo que por cierto también persigue el análisis económico.

Antes de generalizar el problema conviene ver un caso simple como el de una turbina cuyo flujo expansionándose produce un trabajo en el eje. En un diagrama (h, s) el proceso real evoluciona desde el estado *1* al estado *2* de la figura. Los balances de energía y de entropía del proceso (primer y segundo principios) son:





$$m\left(h_1 - h_2\right) = W \tag{54}$$

$$-\,m\left(s_1 - s_2\right) = S_g$$

Cuando en igualdad de especificaciones del flujo de entrada, *1*, la turbina se degrada, es evidente que un incremento de la generación de entropía tendrá como consecuencia un incremento de la *cantidad* de fuel, 1, para mantener la producción constante. Supongamos que como consecuencia de la degradación el nuevo estado del flujo de salida es 2' caracterizado por $(h_{2'}, s_{2'})$. Un análisis diferencial bajo estas condiciones resulta en:

$$\begin{aligned} W &= const. & (h_1 - h_2)\, dm &= m\, dh_2 \\ (h_1,\ s_1) &= const. & (s_2 - s_1)\, dm + m\, ds_2 &= dS_g \end{aligned} \tag{55}$$

Y si definimos *temperatura de disipación del flujo 2* como el cociente

$$T_{d_2} \equiv dh_2 / ds_2 \tag{56}$$

se obtiene que

$$\left(\frac{dm}{dS_g}\right)_{conds} = \frac{T_{d_2}}{(h_1 - h_2) - T_{d_2}(s_1 - s_2)} \quad \text{o bien} \quad \left(\frac{dm}{dI}\right)_{conds} = \frac{T_{d_2}/T_0}{(h_1 - h_2) - T_{d_2}(s_1 - s_2)} \tag{57}$$

es decir una expresión matemática exacta de la relación que existe entre la degradación local e incremento de recursos asociados. La expresión (57) fue obtenida por primera vez por A. Valero (1992) y a la función $(h_1\text{-}h_2)\text{-}T_{d_2}\text{-}(s_1\text{-}s_2)$ se le llamó «energía libre relativa», mientras que E. Sciubba propuso llamarla «temperatura de disipación». A. Royo (1994) desarrolló ampliamente sus propiedades. Lo cierto es que la ecuación (57) demuestra que todo incremento de degradación en una estructura energética tiene una «temperatura» asociada. Este parámetro tiene en realidad dimensiones de temperatura pero no es una temperatura en sí sino que se calcula midiendo el cociente $\Delta h_2/\Delta s_2$ experimentado por el flujo de salida de la turbina.

En general, puede demostrarse que en general la relación existente entre el incremento de la degradación de entropía en un proceso y la cantidad de recurso adicional necesario bajo las especificaciones de: a) calidad de recurso constante y b) calidad y cantidad de producto constantes valen

$$\frac{\partial q_f}{\partial S_g} = \frac{T_d}{f} \tag{58}$$

siendo f la energía libre relativa del recurso local en cuestión (véase p. ej. Royo (1994) o Royo y Valero (1995)).

Esta expresión demuestra que el segundo principio aún no ha dicho la última palabra en relación entre calidad, coste e irreversibilidad. En un campo aparentemente alejado como es el de «calidad industrial» Taguchi (1993) relaciona e incluso identifica calidad con pérdidas y fallos ocasionados.

Quizá el próximo siglo veremos un desarrollo más amplio de la teoría aquí esbozada a partir de la ecuación (58). Definiciones de energía útil como la de Odum (1988) –aquélla que retroamplifica y se disipa en estabilizar un lazo autocatalítico– quizá no debieran ser descartadas.

EL COSTE EXERGOECOLÓGICO

Una crítica al uso de la exergía como medida de la calidad no descarta su valor como indicador ecológico más fiable y universal que la energía incorporada, y por ello en esta sección voy a describir el concepto de coste exergoecológico, su cálculo y su importancia.

Se dice que los costes monetarios son más objetivables que los precios. Estos últimos se forman en el mercado que sólo en los libros de economía es perfecto, mientras que los costes de los productos y servicios se forman al sumar los recursos que objetivamente se han necesitado para producirlos. Pero a su vez los recursos son productos de un proceso anterior que necesitaron nuevos recursos y así sucesivamente. Sin embargo cuando llegamos a la Naturaleza como no sabemos qué precio pagarle a ella por los recursos que nos da, decidimos que el coste de los recursos naturales es *el precio* que éstos alcanzan en el mercado –imperfecto–. De tal manera que queda rota la cadena de la objetividad de los costes, ya que éstos también se forman a partir de los precios. En otras palabras, convertir los costes monetarios en costes energéticos a partir de los coeficientes técnicos input-output sólo es justificable si no se dispone de ninguna herramienta alternativa más rigurosa. Porque, cuando llegáramos a valorar un recurso natural no cuantificable en términos energéticos, el método no tiene solución y lo ignora. Por otra parte el método propuesto por Odum de analizar las unidades de energía solar necesarias tampoco resuelven el problema porque, ¿cuál es la energía solar necesaria para producir una mina de, por ejemplo, bauxita?

El análisis exergoecológico da respuestas a ello desde el punto de vista del segundo principio. En efecto, podemos imaginar fácilmente el fin de la Tierra como un «totum revolutum» de máxima entropía en el que por acciones humanas, geológicas o cosmológicas se llegara a una «sopa entrópica» en el que todos los materiales que componen la corteza terrestre estuvieran diluidos a la máxima dispersión y además en un estado químico inerte. En esa sopa entrópica el sol seguiría calentando la tierra pero su acción sólo sería ya dispersiva. Es un mundo imaginario, que no podremos ver pero que fácilmente podemos admitir ya que el hombre está contribuyendo con sus acciones a acercarnos a él con una velocidad continuamente creciente.

Si la idea es clara, ya no lo es tanto la composición hipotética que esta sopa alcanzaría. Este es un problema que los termodinámicos han estudiado y polemizado largamente, porque llegar con todos los materiales de la Tierra a un estado de equilibrio térmico, mecánico y químico no es trivial. Ahrendts (1980) y Szargut (1986) son dos de los termodinámicos que más han contribuido a este problema. El primero al buscar un mínimo absoluto de energía libre de Gibbs llegó a un ambiente muy alejado del actual –en el que por ejemplo todo el nitrógeno estuviera en forma de nitratos–. Frente a ello Szargut y el mismo Ahrendts proponen unos ambientes de referencia, AR, con inhibición de la formación de nitratos, que a la presión y tem-

peratura ambientales medias tuvieran unas fases sólida, líquida y gaseosa similares a la actual pero diluídas y con cada elemento en su forma química más estable posible.

En mi opinión, si el análisis exergoecológico se utiliza en el futuro, la comunidad de practicantes deberá asumir por convenio internacional un «Ambiente Legal de Referencia» sobre el que basar todos sus cálculos.

Aún para este ambiente de referencia será también necesaria la energía solar. Ya que si la Tierra es un planeta a una temperatura media de *288 K*, el Universo está aproximadamente a *2 K* y ello significa que un solo instante sin luz solar lo enfriaría irremediablemente. Afortunadamente la tierra gira sobre sí misma cada 24 horas permitiendo que al ser las noches cortas, el planeta no se enfríe demasiado. En otras palabras una gran parte de la energía solar se utiliza en mantener el ambiente que consideramos de exergía nula (!).

A partir de esa sopa entrópica –con remojones sólidos y humeante para convivir con especies gaseosas– todas las manifestaciones materiales tienen exergía. El viento, la luz solar, el agua de los ríos, la biomasa, los combustibles fósiles... y las minas.

Parece evidente que los recursos renovables tengan exergía en tanto que han sido capaces de producir a lo largo de millones de años la propia biosfera. En la literatura termodinámica aparecen artículos que propone metodologías para su cálculo. Véase por ejemplo Zaleta et al. (1997) para el agua dulce, Hedgerton (1980) para la radiación solar entre otros. Para los combustibles fósiles su cálculo exergético está bien establecido, sin embargo esto no ocurre con los minerales.

En efecto, los datos de minerales se proveen a nivel mundial en tonelaje y composición. Nunca se ha clasificado a los minerales desde un punto de vista energético, ya que en general su composición química –y por tanto su energía– no es en general la razón relevante de su valor comercial. Su valor se encuentra en su escasez. Un ejemplo claro es el oro, que se encuentra siempre puro en estado nativo y cuya exergía química es nula. Lo que cuenta desde un punto de vista exergético son la cantidad de recursos energéticos consumidos en forma de movimientos de tierras sobre todo, para obtener pequeñas cantidades de él. Existe pues otra componente, la exergía de concentración que es la componente relevante en el cálculo de la exergía de una mina. Valero y Ranz (1998) han emprendido un programa de investigación para calcular toda la exergía de todos los minerales de la tierra. Desafortunadamente aparecen dos problemas, uno ligado a la falta de datos fiables a nivel mundial que se podría siempre resolver. El segundo es más complejo, la exergía química de concentración es en general muy pequeña. En efecto el proceso de dilución es uno de los más irreversibles que se conocen, es demasiado fácil mezclar y muy costoso separar. Ello se refleja en que la exergía destruida en un proceso de mezcla es pequeña y la necesaria para separar lo mezclado es enorme con la tecnología humana actual. Sólo los mecanismos biológicos lo pueden hacer a costes razonables.

El mismo problema se aplica a la contaminación ambiental que resulta exergéticamente poco destructora y sin embargo es muy compleja la limpieza del medio ambiente.

En cualquier caso, baste aquí para el propósito de este artículo decir que se está realizando un programa de investigación para calcular el capital exergético de los recursos de la tierra.

Como la exergía es el coste termodinámico mínimo para calcular un determinado producto a partir de un medio ambiente definido de referencia, formalmente ya podremos calcular los costes exergéticos de todos los productos producidos por el hombre. La ruptura de la cadena de costes económicos que se establecía en la valoración con precios de los recursos naturales ya no se da con los costes físicos. En principio todo proceso consume exergía y materias primas que son valorables exergéticamente con respecto a unas condiciones de referencia terrestres. Para calcular los costes exergéticos se puede utilizar la información que proveen los Análisis de Ciclo de Vida.

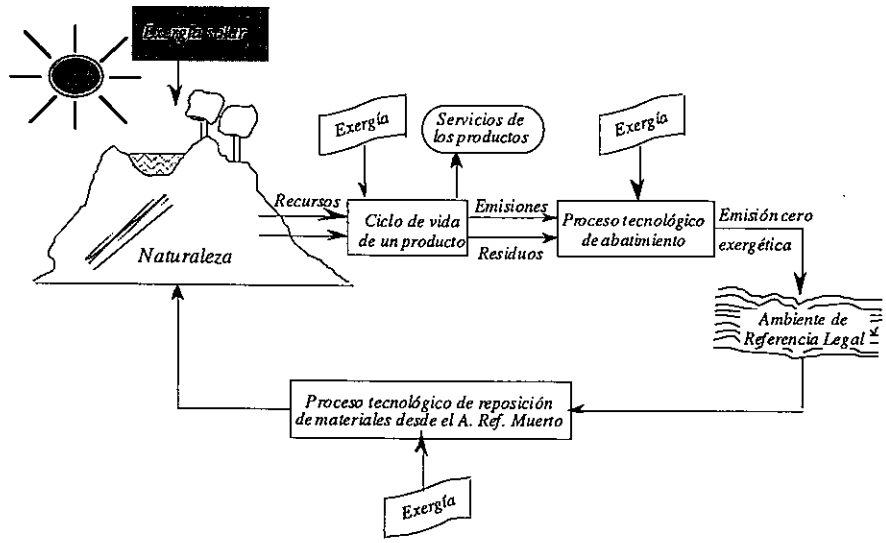
El Análisis de Ciclo de Vida es una técnica que permite medir el impacto medioambiental que tienen los productos y servicios tanto en consumo de materias primas y recursos como en degradación del medio. El estudio se realiza como ya es bien conocido (Véase p. ej. Fava et al, 1991) «desde la cuna hasta la tumba», es decir desde que se extraen agua, minerales y recursos energéticos y se realiza el proceso de fabricación, luego se analiza durante su uso y posteriormente su disposición como residuo. Durante este análisis global se cuentan de forma separada todos y cada uno de los recursos que fueron necesarios en la vida así como las emisiones sólidas, líquidas y gaseosas que se produjeron: Los técnicos de ACV van a ir tomando una posición de influencia creciente en el diseño de productos industriales y constituyen la base de lo que se ha denominado «ecología industrial».

El ACV constituye una herramienta fundamental cuando se quiere disponer de datos para calcular los costes exergéticos, así que recientemente se ha propuesto por diversos autores el Análisis Exergético de Ciclo de Vida (Gong y Wall, 1997 y Corneliesen, 1997), como análisis complementario. Algunos autores sin embargo discrepan con la reducción de los impactos medioambientales de ACV a un solo valor de exergía (Alting, 1995), porque es más rica la información proporcionada por el ACV que la elaborada con exergía. Ello es cierto, y hay que decir que el AExCV es una información complementaria y no sustitutiva del ACV convencional. Las aplicaciones que le demos al AExCV dependerán de la habilidad de sus utilizadores.

En cualquier caso, el ACV tiene un problema estructural importante, analiza los productos «desde la cuna hasta la tumba» y sin embargo la Naturaleza funciona por ciclos. Mientras las sociedades humanas tomen recursos de la Naturaleza y los degraden ensuciando el medioambiente, podremos calcular e incluso impedir los impactos, pero no evitarlos. La única forma de sostenibilidad es imitar a la Naturaleza. O en otras palabras, funcionar por ciclos «desde la cuna hasta la cuna» utilizando exergía solar porque es la exergía natural que tenemos gratis y suficientemente abundante.

Para completar el ciclo de cálculo, es necesario calcular también el «coste exergético de reposición de los materiales» que han sido degradados a lo largo del Ciclo de Vida de un producto. El anhídrido carbónico emitido hay que fijarlo con reforestación, el agua hay que depurarla hasta el mismo nivel de pureza que se tomó, hay que reciclar los materiales, estudiar los mecanismos de reposición del medio natural y reponerlos. Todas estas acciones consumen exergía y hay que adicionarla a nuestros cálculos.

La figura siguiente presenta un esquema de cálculo de los costes exergéticos que resultaría.



El valor del coste total medido en unidades de exergía lo denominaremos «coste exergoecológico» y cuanto mayor sea el de un producto o servicio más insostenible será. Como sólo la energía solar, la de las mareas y la del interior de la Tierra son gratis y renovables, éstas no se contabilizarán en el cálculo de costes.

El cálculo del coste exergoecológico encerrará así varias fases:

a) Cálculo de la exergía de los recursos naturales o del capital natural a partir de un ambiente de referencia legalmente acordado.
b) Cálculo de la exergía a lo largo del ciclo de vida del producto o servicio. Ello incluye el análisis exergético completo de todos los materiales y servicios necesarios para la producción, transporte, distribución, uso, mantenimiento y disposición del producto analizado.
c) Cálculo de la exergía necesaria con la tecnología disponible para el abatimiento hasta exergía nula de todas las emisiones sólidas, líquidas y gaseosas realizadas a lo largo de un ciclo de vida.

d) Cálculo del coste exergético de reposición con la tecnología actualmente disponible de todos los materiales utilizados para reponer a la naturaleza el servicio realizado.

En CIRCE, estamos llevando a cabo un programa de investigación para poner en acción esta metodología.

POR UN PROGRAMA INTERNACIONAL DE CÁLCULO DE COSTES EXERGOECOLÓGICOS

Al contabilizar todos los costes incurridos en un proceso productivo seremos capaces de saber la verdadera deuda de sostenibilidad que adquirimos con el planeta. Otro problema será saldarla ya que para reponer sólo se podría utilizar estrictamente energía solar pues de otro modo en vez de disminuirla la aumentaríamos. El reciclado de materiales es uno de los procedimientos más eficaces de disminuir los costes exergoecológicos. Ello es debido a que los procesos de mezcla son quizá los procesos tecnológicamente más irreversibles que se conocen. Cada vez que reciclamos estamos evitando la deuda asociada a los enormes costes necesarios para la reposición de los minerales hasta la misma exergía de concentración que éstos tenían en la naturaleza. Otra forma de reposición es con reforestación porque fija el CO_2 producido en la combustión de combustibles fósiles. En general, toda reposición que incremente la resiliencia de los sistemas naturales debe ser tomada como contribución a la reposición de nuestra deuda con la naturaleza.

No reponer, es esperar a que la naturaleza lo haga por sí sola. Pero en ello la Naturaleza, movida por la energía solar se toma su tiempo, y hasta es posible que si se rebasan determinados límites, los sistemas naturales pierdan su memoria y capacidad de reponerse. Cada vez que depredamos el capital natural de la tierra estamos pidiendo créditos en forma de tiempo para que la acción solar reponga por nosotros lo destruido. Al final estamos robando tiempo-del-Sol acumulado futuro a las generaciones que hereden la Tierra (Valero, 1995).

Aplicando la metodología que se está desarrollando, cada producto tendrá su coste exergoecológico. Dado el gran esfuerzo interdisciplinar del trabajo, sería necesaria una conferencia internacional que fijara conceptos, metodologías, fuentes de información y estimulara la cooperación interdisciplinar en la materia. Desde 1994 he propuesto en diversos foros internacionales: Conferencias ASME, Banco Mundial y en la Unión Europea la realización de un proyecto internacional de cálculo de costes exergéticos de todos los productos y servicios. Al igual que se han acometido proyectos de envergadura mundial como el proyecto GENOMA o la lucha contra el cáncer

o el SIDA o el de enviar al hombre a la Luna, ¿por qué no dedicar un gran esfuerzo de cooperación internacional para calcular los verdaderos costes de nuestra sociedad? Mientras esto no ocurra no parece que la preocupación por la «sostenibilidad» ayude a reconsiderar los modos de gestión imperantes en la civilización industrial.

BIBLIOGRAFÍA

AHRENDTS, J. (1980), *Reference states*. Energy, vol. 5, pp. 667-77.

ALCÁNTARA, V. (1995), *Economía y Contaminación Atmosférica: Hacia un nuevo enfoque desde el análisis Input-Output*. Ph. D. Thesis. Univ. of Barcelona.

ALTING, L. L., LEGARTH, J. B. (1995), *Life-Cycle Engineering and Design*. Life Centre, DTU, Copenhagen.

BROWN, M. T., HERENDEEN, R. A. (1996), *Embobied energy analysis and EMERGY analysis: a comparative view*. Ecological Economics, vol. 19, pp. 219-235.

CORNELIESSEN, R. L. (1997), *Thermodynamics and Sustainable Development. The use of exergy analysis and the reduction of irreversibility*. Ph. D. Thesis, Univ. of Twente.

EVANS, R. B., Tribus, M. (1965), *Thermo-Economics of Saline Water Conversion*. Ind. Eng. Chem. Process Des. Dev., vol. 4, pp. 195-206.

FAVA, J., Denison, R., Jones, B, Curran, M., Vigon, B., Selke, S., Barnum, J. (Eds.) (1991), *A Technical Framework for Life Cycle Assessment*. Pub. by SETAC, Pensacola, Fla.

GEORGESCU-ROEGEN, N. (1971), *The Entropy Law and the Economic Process*. Harvard Univ. Press, Cambridge, Ma.

GIAMPIETRO, M., MAYUMI, K. (1998), *A new vision of biophysical analyses of socio-economic systems as a took for sustainability: lessons from recent development of complex systems theory*. Ed. S. Ulgiati. Intl. Workshop in Advances Energy Studies. Energy Flows in Ecology and Economy, May, 27, Porto Venere, Italy.

GONG, M., WALL, G. (1997), *On Exergetics, Economics and Optimization of Technical Processes to Meet Environmental Conditions* in (R. Cai and M. Moran) Thermodynamic Analysis and Improvement of Energy Systems, June 10, pp. 453-60.

HEDGERTON, R. H. (1980), *Second Law and Radiation*. Energy, vol. 5, no. 8-9, pp. 693-707.

KLÖPFFER, W. (1997), *In Defense of the Cumulative Energy Demand*. Int. J. of Lyfe Cycle Assessment, vol. 2 (2), p. 61.

LEONTIEFF, W. (1970), *Environmental Repercussions and the Economic Structure: An Input-Output Approach*. Review of Economics and Statistics, vol. 52, no. 3. Aug.

ODUM, H. T. (1988), *Self Organization, Transformity and Information*. Science, vol. 242, pp. 1132-39.

RANZ, L., Valero, A., Cebollero, M. (1998),

ROYO, F. J. (1994), *Las ecuaciones características de los sistemas térmicos. La energía libre relativa*. Ph. D. Thesis. Univ. of Zaragoza.

ROYO, F. J., Valero, A. (1995), *Towards a Unified Description of the Energy Behavior of Thermomechanical Systems* in (Ed. R. J. Krane) Thermodynamics and the Design, Analysis and Improvement of Energy Systems, AES, vol. 35, ASME Book no. H01045, pp. 127-134. ISBN 0-7918-1764-4. San Francisco, California.

SZARGUT, J., Morris, D. R. (1986), *Standard Chemical Exergy of some elements on the planet Earth*. Energy, vol. 11, pp. 733-55.

SZARGUT, J., MORRIS, D. R., STEWARD, F. R. (1988), *Exergy Analysis of Thermal, Chemical and Metallurgical Processes*. Hemisphere Pub. Co., New York.

TAGUCHI, G. (1993), *Taguchi on Robust Technology Development. Bringing Quality Engineering Upstream*. ASME Press, New York.

VALERO, A. (1995), *Thermoeconomics: The Meeting Point of Thermodynamics, Economics and Ecology* in (E. Sciubba and M. Moran Eds.) Second Law Analysis of Energy Systems: Towards the 21st Century, pp. 293-305, Circus, Roma

VALERO, A., Carreras, A., Torres, C., Lozano, M. A. (1990), *On causality in Organizer Energy Systems. Parts I, II and III.* A Future for Energy. FLOWERS'90 (Ed. S. Stecco and M. J. Moran), Pergamon Press, pp. 387-420, Florence.

VALERO, A., Lozano, M. A. (1992), *A General Theory of Thermoeconomics: Part II: The Relative Free Energy Function* in (A. Valero and G. Tsatsaronis Eds.) ECOS'92, On Efficiency, Costs, Optimization and Simulation of Energy Systems, pp. 147-154. ASME Book no. I00331. ASME, New York.

VALERO, A., LOZANO, M. A., MUÑOZ, M. (1986), *A General Theory of Exergy Saving* in (Ed. R. A. Gaggioli) Computer-Aided Engineering and Energy Systems. ASME-AES vol. 2-3, pp. 1-21, ASME Book no. H0341C, New York.

VALERO, A., SERRA, L., LOZANO, M. A. (1993), *Structural Theory of Thermoeconomics* in (Ed. H. J. Richter) Thermodynamics and the Design, Analysis and Improvement of Energy Systems, ASME-AES vol. 30, pp. 189-198, ASME Book no. H00874, New York.

ZALETA, A., Ranz, L., Valero, A. (1997), *Towards a Unified Measure of Renewable Resources Availability: The Exergy Method Applied to the water of a River* in (G. Manfrida, Ed.) FLOWERS'97, Clean Energy for the Future, SGE Editorialy, Padova, pp. 315-22.

EL PAPEL DE LA ESPECIE HUMANA EN LOS CAMBIOS DE LA TIERRA. ALGUNAS REFLEXIONES ECOLÓGICO-HISTÓRICAS

FERNANDO PARRA
Consultor ambiental

«Existen dos maneras de saber: una que deriva de la discusión y la otra de la experiencia. La discusión origina conclusiones que nos sentimos impulsados a admitir, pero no causa certidumbre ni despeja dudas para que la mente descanse en la verdad, cosa que sólo la experiencia otorga.»

ROGER BACON

«Quiero decir unas palabras en favor de la Naturaleza, de la libertad total y el estado salvaje, en contraposición a una libertad y una cultura simplemente civiles; ***considerar al hombre*** *como habitante o parte constitutiva de la* ***Naturaleza,*** *más que como miembro de la sociedad. Desearía hacer una declaración radical, si se me permite el énfasis, porque ya hay suficientes campeones de la civilización; el clérigo, el consejo escolar y cada uno de vosotros os encargaréis de defenderla.»*

H. D. THOREAU
Walking

INTRODUCCIÓN

Los efectos de nuestra especie sobre el planeta son actualmente tema de un debate en el que el llamado medio ambiente ha pasado en pocos lustros de consideraciones locales a globales; el caso del cambio climático es el más invocado y quizá también el más inaprensible[1]. Pero los más notorios –los

[1] La relación causa-efecto de los gases de efecto «invernadero» responsables del calentamiento global está suficientemente establecida. Otra cosa bien distinta y por ello objeto de debate en todos los foros tanto políticos como científicos es deslindar qué parte de ese cambio es atribuible a las actividades humanas, en especial a la quema de combustibles fósiles, y qué parte es propia de las oscilaciones «naturales» del sistema climático. A eso me refiero con el calificativo de «inaprensible».

menos precisados de cualquier otra comprobación– son los que modifican conspicuamente la misma superficie de nuestro planeta –lo que podríamos denominar «paisaje»–, sobre la que el hombre viene actuando desde hace milenios.

Lo inédito de la situación actual es de grado: su intensidad y su extensión; en definitiva: la globalización de dichos efectos.

Disciplinas como la Historia de esos cambios ayudan a comprender y relativizar ciertas afirmaciones actuales y a contemplar el paso de lo local a lo global y de ciertos procesos poco mencionados como el de la fragmentación territorial –una suerte de «jibarización» o empequeñecimiento del planeta–. Adjetivos de consenso o conciliadores, como el de la sostenibilidad, pueden así situarse en sus justos términos.

MARCO TEÓRICO: NUEVAS FORMAS DE PENSAR SOBRE EL MUNDO

Un falso antagonismo

Es muy frecuente plantear en términos de antagonismo la relación hombre-naturaleza. En épocas anteriores lo usual era destacar ese antagonismo en detrimento del hombre (Éste, por tanto, debería domeñar a aquélla en su beneficio). Por el contrario, en la actualidad y al menos en ciertos círculos que vagamente podríamos denominar ecologistas o conservacionistas, se suele hacer énfasis en lo contrario: el efecto negativo del hombre sobre la naturaleza. A mi juicio dicho planteamiento se agota en sí mismo; quizá haya rendido réditos en la forma de aumentar una cierta «conciencia ecológica»[2], pero creo que conduce a un callejón sin salida lleno de referentes míticos a pasadas épocas supuestamente más armoniosas en esa relación.

La extracción de recursos simplistas, la que podríamos denominar explotación «minera», es a la utilización compleja de los ecosistemas lo que la genética mendeliana a la genética de los caracteres complejos, como la inteligencia o la estatura. Frente a los guisantes lisos o rugosos, la estatura depende de sistemas de genes y del ambiente y su expresión final no es totalmente

[2] El término «conciencia ecológica» es, a mi juicio, casi tan desafortunado como el redundante de «medio ambiente». Se alude en dicha forma, en intervenciones político-morales, a deseables cambios en comportamientos del hombre con su entorno. Y no me parece adecuado, por una parte, por que así, en genérico aludir al «hombre», la especie en su conjunto, me parece una forma hábil de diluir responsabilidades entre todos, víctimas y verdugos, que son sólo atribuibles a esas pocas personas con capacidad real de decisión en la extracción de recursos y los cambios drásticos sobre el entorno; por ejemplo, los escasos miembros de los consejos de administración de las empresas multinacionales. Por otra parte, la conciencia no es delegable sino quizá lo más personal e íntimo que tiene cada individuo y difícilmente, entonces, se puede erigir nadie en guardián o fideicomisario de tal asunto. Así que más que de conciencia habría que hablar de información, conocimiento y sabiduría reales sobre lo que sucede, incluyendo el conocimiento sobre los mecanismos que provocan estos efectos ambientales indeseados por la mayoría.

predecible; frente a la explotación «vertical» cultivo-fábrica de papel de los eucaliptos rápidos y pulposos, la explotación parsimoniosa «horizontal» y compleja de un verdadero bosque, no de un monocultivo maderero, requiere consideraciones sistémicas y holísticas que, en el ámbito de por sí peculiar de los entornos mediterráneos, que es la que el autor mejor conoce, nos hará concluir que «para madera, la del huerto, y para frutos los del bosque»; esto es, que frente a la especialización productiva es mejor la calidad de los antaño denominados productos «marginales», la madera de cerezo o las grosellas silvestres. O dicho de otra forma: que hay que priorizar la adaptación «al» entorno al lugar de la modificación «del» entorno, aunque ambas sean inevitables en la explotación de los recursos naturales: no adaptar los campos de cultivo a la maquinaria, sino la maquinaria a los cambios de cultivo; es decir –y por no salir de este ejemplo–, la mecanización agraria no es buena ni mala a priori; lo que es buena o mala es la forma en que se realice: adaptando el entorno a las máquinas (mala por lo general) o adaptando las máquinas al entorno (buena, pero más difícil de realizar). La sabiduría de los antiguos (Paracelso, Bacon) reconocía esto cuando afirmaba que «a la naturaleza sólo se la domina respetándola». El enemigo no es, como presuponen muchos conservacionistas, la tecnología que nos ahorra esfuerzos físicos, sino la tecnología que nos impide calibrar las consecuencias complejas de esos esfuerzos, esto es: que nos «ahorra» pensar a largo plazo.

Conservar o transformar

La alternativa entre conservación o desarrollo[3] es un falso dilema interesada y expresamente simplista para que la elección sea tan limitada como la caverna paleolítica frente al confort moderno, que, dicho sea de paso, sólo disfrutan plenamente un aproximado tercio de la humanidad actual. Sin embargo, si miramos a nuestro alrededor veremos una realidad distinta: los paisajes del Mediterráneo, por ejemplo, que han soportado la impronta de sociedades humanas desde que éstas merecían tal nombre, son el resultado, tan expresivo como a menudo impredecible, de esa secular interacción del hombre con su entorno. Y esto es válido no sólo para los ámbitos agrarios más o menos transformados sino para la denominada «Naturaleza», que abarca normalmente zonas marginales, como la montaña o la marisma, pero igualmente modificadas antrópicamente.

[3] Nuevamente, dos términos: «conservación» y «desarrollo», francamente ambiguos; hasta el punto de que el primero –y no sólo por modas semánticas– ha sido sustituido por el de «mantenimiento de la biodiversidad» y el segundo está tan lastrado de connotaciones políticas que ha precisado de epítetos continuos de tipo corrector, desde ecodesarrollo hasta el reciente de desarrollo sostenible, pasando por el de desarrollo con rostro humano y un largo etcétera. Para la historia de este término omnipresente y ambivalente concepto confiérase la voz «Desarrollo» de Gustavo Esteva en «The Development Dctionary. A Guide to Knowledge a Power».

Como señala Freeman Dyson[4], un debate convencional entre economistas del mercado libre –creyentes cínicos en el dios Mercado– y conservacionistas –postulantes de otra diosa, la Naturaleza, separada, alzada, agraviada y salvadora del hombre– lo que ejemplifica antes que nada es la falta de visión de futuro de ambos colectivos, la miopía –el desenfoque a largo plazo– de ambas posturas. Los conservacionistas intentan preservar el pasado como prioridad absoluta, de forma que su propuesta de futuro es que éste sea similar en todo lo posible a aquél; los economistas crematísticos devalúan ese futuro a un tipo de descuento anual del siete por ciento. Ningún bando del debate habla pensando en el futuro, piensa el futuro.

A este respecto es ilustrativa la anécdota que relata el mencionado Dyson: frente a la casa de su abuelo en la antigua Alemania Oriental se alzaba un majestuoso roble que el anciano se mostraba dispuesto a talar puesto que ya había pasado su mayor vigor. Cuando el nieto le reprochó tal intención, señalándole que el árbol era aún hermoso y fuerte, el anciano le repuso que plantaría en su lugar un nuevo retoño, para que sus nietos, cuando llegaran a su edad pudieran contemplar otro roble igual de notorio. La anécdota no se entiende si no establecemos una limitación: que sólo había un sitio frente a la casa donde pudiera medrar un árbol así. Cuando contemplamos las hermosas dehesas de quercineas del Occidente Ibérico también estamos contenplando un paisaje fósil, creado por nuestros abuelos, disfrutado por nuestros padres, moribundo en nuestra edad adulta y desaparecido, si no se remedia, en el porvenir de nuestros nietos: no lo hemos renovado. Sembrar trigo es un bien para el padre, plantar una vid lo es para el hijo y hacerlo con un olivo para el nieto. Ya no hacemos nada para los nietos. No contemplamos el futuro que se extiende tan sólo en el centenar de años de la vida de un roble. Y así nos va.

Evidentemente hay matices. De hecho, el matiz es lo que importa. Lo que en los conservacionistas tópicos de la naturaleza es miedo al futuro –miedo que si se supiera encauzar conduciría a algo más sabio: el principio de cautela ante todo cambio brusco–, en los desarrollistas es explosiva mezcla destructora de codicia e ignorancia petulante, es decir, cuantificada, modelizada; brutal esoterismo macroeconómico. Ofrecer como único modelo del futuro el pasado –o la imagen idílica que de él tengamos– no es utópico, como a menudo se dice, sino estrictamente conservador, en el sentido político e ideológico de la palabra, pero no conviene olvidar que su alternativa posmoderna y económica es más deléterea. El posmodernismo es la etapa superior y final del capitalismo; y el papel histórico del capitalismo –leamos a Marx como el clásico que es, leamos a Fukuyana, el de «El fin de la Historia», como el bocazas que no pudo evitar ser– , como dijo John Berger[5], es destruir la historia,

---

[4] Freeman Dyson: *Imagined Worlds*, Harvard University Press, 1997.

[5] John Berger; novelista y crítico inglés afincado en Francia; léase especialmente su trilogía novelada sobre la desaparición en la segunda mitad del siglo XX del mundo rural europeo y las formas de vida campesinas, compuesta por *Puerca tierra, Una vez en Europa* y *Lyla y Flag;* el único intento que me cons-

cortar todo vínculo con el pasado, y orientar todos los esfuerzos y toda la imaginación (escasa) hacia lo que está a punto de ocurrir y que siempre se presenta como inevitable, cueste lo que cueste a otros y en especial a las generaciones venideras que no tienen, por definición, voz ni presencia en el deificado mercado.

Por concluir este preámbulo, haré una declaración de principios que está avalada por todo lo que la ciencia real de la ecología nos enseña: la inmensa mayoría de los llamados problemas ecológicos o ambientales no son conflictos entre una especie, la nuestra, «salida de madre» (de madre naturaleza) y el planeta o la biosfera mancillada, sino conflictos entre grupos humanos que concurren sobre unos determinados recursos necesaria y por definición también limitados.

Numerosos trabajos actuales indagan en las posibles utilidades de la biodiversidad de zonas marginales del planeta para la sociedad moderna que hasta ahora, cuando las ha explotado, lo ha hecho modificándolas drásticamente. Este cambio de orientación, nada altruista, permite, sin embargo, albergar esperanzas sobre la futura conservación más o menos íntegra de esas áreas naturales y poder así seguir disfrutando de su papel regulador en los ciclos generales de la biosfera poco monetarizables y, por tanto, poco o nada considerados en los análisis económicos. Uno de esos trabajos, por ejemplo, pretende establecer qué recursos de la biodiversidad amazónica son utilizados por los yuracarés bolivianos. En dicho trabajo uno se da cuenta de que el antagonismo entre cultura y naturaleza es sólo supuesto: la naturaleza está ahí, como despensa, farmacia y tienda de impedimentas generales, la selva ecuatorial, pero para poder aprovecharla, estos indios no cuentan con garras, olfato o patas rápidas, sino con un conjunto de conocimientos adaptativos, transmitidos por tradición y adquiridos empíricamente que se llaman cultura. Cultura y naturaleza es evidente que aquí no se oponen, sino que son sectores diferentes del mismo flujo del ecosistema; en la selva –si excluyéramos esa población humana– domina la transmisión de información genética y ecológica, en los indios que la habitan se utiliza prioritariamente el canal de información cultural.

Clément Rosset decía que la naturaleza ocupa una posición intermedia entre la materia y el artificio[6], esa posición no la define la materia ni la energía en términos ecológicos, sino la información. El ejemplo anterior de los yuracarés y la selva boliviana destaca aún más la incongruencia de los planteamientos tipo MaB (Man and Biosphere, programa de la Unesco sobre las

---

te en toda la literatura europea de relatar y trascender todo un mundo vigente hasta hace muy poco; una cultura y una forma de organización, sustituidas por la trivialidad de la moderna sociedad de consumo, no por la potencial plenitud de la vida urbana. En España sólo Miguel Delibes, en sus obras sobre la Castilla rural –*El camino, Las ratas, Diario de un cazador,* etc.– se aproxima a ese intento, pero Delibes se limita a ser un ajustado notario –en especial del lenguaje– de ese mundo que desaparece sin analizar causas.

[6] Clément Rosset: *L'anti-nature*; Presses Universitaries de France; París, 1973.

relaciones ecológicas del hombre y la naturaleza) frente a los más correctos MiB o MoB (Man in Biosphere, o Man on Biosphere).

Cabe preguntarse, sin embargo, cómo hemos llegado a esa disociación, intrínsecamente anómala entre la naturaleza y una de sus criaturas ciertamente peculiar y hegemónica, pero natural al fin y al cabo. La respuesta puede ser doble: por un lado y aunque pueda parecer sorprendente, que los planteamientos ecológicos no suelen estar presentes en las llamadas cuestiones «ecológicas» o ambientales. Segundo, que hayamos sobrepasando los límites (lo que antes se llamaba, un tanto ingenuamente «ruptura del equilibrio ecológico» y hoy se denomina, con idéntico significado –la semántica también tiene modas– quiebra de la «sostenibilidad»). El problema entonces no sería, como intuía Thoreau entre naturaleza y cultura, sino entre naturaleza y cierto tipo de cultura que el patriarca yanqui llamaba «civil» y hoy denominaríamos economicista. ¿Cómo se produce esta quiebra en una criatura por un lado irremisiblemente ligada, lo quiera o no a la naturaleza, puesto que «es» naturaleza, y por otro en una criatura precisamente «racional»? La respuesta es: rompiendo la adaptabilidad del canal de información cultural, esto es, pensando inadecuadamente; por ejemplo, generando falsas ciencias o creencias teológicas como la del Mercado como mano invisible[7] de redistribución equitativa o la «posibilidad», termodinámica y biológicamente imposible, de crecer ilimitadamente en un mundo limitado. También negándose a indagar en ciertas evidencias poco consoladoras o «políticamente incorrectas», como la desigualdad aparentemente intrínseca y asociada al uso de la energía exosomática que señala Margalef. En cualquier caso, en este tipo de debates se generan afirmaciones tan difíciles de probar (y por ello acientíficas, sean verdaderas o falsas) como la de la destrucción del planeta por nuestra especie y la subsiguiente desaparición de ésta. En todo caso, lo que está en precario es el género de vida productivista y despilfarrador que mantiene el sector más minoritario e influyente de la especie humana a costa del sector mayoritario y paupérrimo. De este modo, los llamados problemas ambientales o ecológicos son esencialmente conflictos entre grupos humanos más que entre la naturaleza y el hombre; son pues problemas políticos –en la acepción más noble del término *política*– o, si se quiere geopolíticos.

¿Otras formas de pensar?

El modo de razonar que ha producido nuestro nivel actual de civilización, sus avances técnicos, su sanidad y su moral, pero también que ha causado la denominada «crisis ecológica» es lo que los lógicos denominan silogismo

[7] Adam Smith: *Sobre la naturaleza y causas de las riqueza de las naciones;* 1.ª ed. ing. 1776; 1.ª ed. en cast. 1794.

«Bárbara», que en su formulación más tradicional dice así:

Los hombres mueren.
Sócrates es un hombre.
Sócrates muere.

Pero hay un segundo tipo de silogismo que se denomina casi como un caso clínico «afirmación de la premisa menor» y que dice:

La hierba muere.
Los hombres mueren.
Los hombres son hierba.

Una de las últimas aportaciones del biólogo, antropólogo, sicoterapeuta y lingüista, entre muchas otras facetas de este polifacético nato, Gregory Bateson, se tituló así: «Los hombres son hierba»[8]. Veremos por qué. Para algunos ecólogos, según y cómo, los hombres en efecto somos hierba; para otros, no, pero sólo la hierba es importante (se puede imaginar una biosfera sin hombres, incluso sin animales, pero no sin «hierba», esto es, sin productores fotosintéticos, y sin bacterias, es decir, sin descomponedores que cierren el círculo de materia aupado al flujo de energía); para los ambientalistas finalmente, la hierba sólo es relevante en función del sector ambiental humano que de forma sumamente reduccionista previamente han delimitado; lo que no es lo mismo que la visión humanista: la hierba me importa por cuanto afecta al hombre.

Parece ser que los esquizofrénicos tienden a hablar, y tal vez a pensar, en los términos del silogismo hierba. Por el contrario, los científicos positivistas tienden a pensar con el modelo de silogismo Sócrates, en tanto que los economistas ultraliberales o los estrategas del Pentágono partidarios de la DMA (Destrucción Mutua Asegurada) aplican el primer modelo salvo que éste interfiera con su premisa teologal, sea ésta el crecimiento económico ilimitado, el carácter milagrosamente polivalente y equilibrador del Mercado (nunca se habla de «los» mercados) o la naturaleza benéficamente disuasoria del armamento nuclear, en cuyo caso, prescinden temporalmente y a conveniencia de cualquier silogismo lógico previo.

El silogismo Bárbara o de Sócrates es tan útil –limitadamente útil– como prosaico: identifica a Sócrates, el sujeto, como miembro de una clase más amplia y le aplica su consecuencia. El silogismo hierba es de naturaleza completamente distinta: identifica los predicados: lo que muere es esencialmente igual a cualquier otra cosa que muere (o lo que vive); probablemente debido a esto (sus consecuencias lógicas y morales) y a su desarmonía con el procedimiento de pensar tipo Bárbara, ha estado muy mal visto, es la manera en la que piensan los esquizofrénicos, los poetas, Gregory Bateson y, a mi juicio,

[8] G. Bateson: «Men are grasse», en *Gaia: a way of knowing*, The Lindisfane Association Inc., London, 1987.

algunos de los teóricos más interesantes de la actualidad, como el grupo de pensadores y científicos de lo que John Brockman denomina «tercera cultura», integrados muchos de ellos en el Instituto de Santa Fe, uno de los poquísimos centros científicos del mundo dedicados al estudio de lo simple y lo complejo en una gran variedad de campos[9].

Mi hipótesis es que inicialmente, en las primeras fases de la cultura y actualmente en las culturas «naturales» antes denominadas «primitivas», en el contexto que Levy-Strauss denominó el «Pensamiento salvaje»[10], se funcionaba espontáneamente con el silogismo hierba, compatibilizándolo con el Sócrates. Las cosmogonías, los mitos no reducibles a meras recopilaciones de folclore, podrían analizarse bajo esta luz. Quiero resaltar que no es mi intención hacer una alabanza de los irracionalismos, hoy tan de moda; en todo caso se trataría de volver a la vieja y clásica (en sentido estricto) diferenciación entre «conocimiento» y «sabiduría». Porque si de lo que se trata es de desautorizar marcos teóricos por irracionalistas me parece muy bien emprenderla con la astrología o la quiromancia, pero también con la economía hegemónica y con el conservacionismo habitual. Prosigamos: fue en el paso que relata Frazer[11] de la magia a la religión, esto es, muy recientemente, cuando los hombres dejaron de pensar que eran hierba y se empezó a prodigar, –sobre todo en el paso siguiente de la religión a la ciencia–, el prosaico, aunque eficaz a su modo, silogismo Bárbara como único modo correcto de razonar.

Bateson sostiene que el silogismo Barbara no sirvió de mucho en un mundo biológico hasta la invención del lenguaje y la consiguiente distinción entre sujetos y predicados. En otras palabras, hasta hace unos cien mil años no había silogismos Sócrates, sino Bateson o hierba, y aún así los organismos seguían sin problemas. Consiguieron organizarse en su embriología para tener dos ojos a cada lado de la nariz; lograron organizar su evolución, pues había predicados compartidos entre, por ejemplo, el hombre y el caballo, lo que los anatomistas comparados llaman homologías. Era evidente que la metáfora de la hierba no era sólo poesía (aunque la verdadera poesía sea a menudo un atajo hacia la verdad frente al llamado restrictivamente pensamiento lógico); no era tampoco buena o mala lógica, era «la lógica», la única posible. Lo que sugería Bateson es que habría que recuperar esa forma de razonar tan apresuradamente desechada por su apariencia anómala.

Más arriesgada es la pretensión de demostrar –para mí inviable pero intuitivamente correcta– que en el pensamiento salvaje pos-lenguaje todavía perduraron y coexistieron ambas fórmulas. En cualquier caso, es bastante factible evitar la polémica histórica y considerar sin más la utilidad de este pen-

---

[9] Confiérase, entre otros: Murray Gell-Mann: *The Quark and the Jaguar. Adventures in the Simple and the Complex.* Y también, John Brockman (Ed.): *The Third Culture. Beyond the Scientific Revolution* y, finalmente, Edgar Morin: *Introduction a la pensée complexe.*

[10] C. Levy Strauss: *El pensamiento salvaje;* Fondo de Cultura Económica; México, 1978.

[11] J. G. Frazer: *The Golden Bough*; The Macmillan Company, New York, 1922.

samiento para resolver nuestros dilemas ambientales, en contraposición de los tecnócratas que avalan al silogismo Socrates para resolverlos. Contradiciendo el aforismo de que no se puede ser causa y solución de un mismo dilema, ¿se pueden resolver «sólo» los problemas causados por la técnica con más técnica?: esa es la premisa aceptada por la tecnocracia ambientalista.

Darwin, por ejemplo, el naturalista más eminente que ha existido y un ecólogo «avant la page», funcionó con el silogismo hierba para establecer el *hecho* de la evolución y con el silogismo Bárbara para proponer su *mecanismo* de acción, la selección natural.

Muchos autores consideran que la única forma de salvar los graves problemas ecológicos actuales es propugnando una nueva ética[12]. No estoy totalmente de acuerdo; imponer nuevos códigos morales es casi siempre ineficaz e ingenuo por tanto; es preciso interiorizarlos, cambiando previamente nuestra forma de pensar. Como en la mecánica cuántica, como en la teoría de la Complejidad o del Caos, como en la ecología profunda, sistémica u holística debemos volver a pensar que «todos los hombres somos hierba».

SOBRE UN EFECTO AMBIENTAL GLOBAL NORMALMENTE POCO CONSIDERADO

La fragmentación territorial y lo inédito del problema ecológico presente

Una posible distorsión de esta exposición es haber dado la impresión de creer en la existencia de una supuesta «Edad de Oro» en el pasado de nuestra especie en la que reinaba la armonía entre hombre y naturaleza. No deseo incurrir en esa por otro lado persistente desviación idealista de la Historia. Desde que el hombre es hombre éste no se ha limitado a adaptarse, por el fenómeno conocido como «acción biológica», al entorno, sino que ha modificado éste para mejor adecuarlo a su supervivencia, acertando unas veces, equivocándose otras en las que surgieron los siempre imprevistos desaguisados ambientales. Aunque esta adaptación «del» entorno en lugar de «al» entorno no es exclusiva de nuestra especie (insectos sociales, castores, etc.) en nosotros está especialmente desarrollada.

Lo verdaderamente inédito de la crisis ecológica actual es su globalidad; por vez primera, los efectos indeseados e imprevisibles de las modificaciones del entorno no se sufren sólo localmente, allá donde se producen (por ejemplo, salinización del agua de riego en el Imperio mesopotámico, o deforestación y erosión del Atica en la Grecia clásica, causas ambas invocadas para explicar el declive de estas civilizaciones), sino globalmente por todos. El

[12] Cf. nota 2.

efecto invernadero y el recalentamiento del planeta, el agujero de la capa de ozono o la pérdida global de biodiversidad son ejemplos de esa nueva dimensión total de los problemas generados por la actividad de la moderna sociedad. No obstante, frente a la abundante reflexión sobre este tipo de problemas, o el del crecimiento demográfico o el agotamiento de recursos, hay uno igualmente grave que frecuentemente se omite o sólo se plantea en contextos más limitados, como en los estudios de la evolución del paisaje. Me refiero a lo que denominaré *fragmentación territorial,* de especial relevancia además en nuestro país en relación al resto europeo.

La biogeografía insular y en especial los modelos de MacArthur y Wilson[13] de los años cincuenta nos enseñan que el número de especies que puede albergar un área confinada –una isla rodeada de agua, pero también una zona natural bien conservada rodeada de territorios alterados– depende de su superficie y de la distancia a las zonas «madre» de emigración. Concretamente la biodiversidad S de una isla oceánica es directamente proporcional a su extensión A e inversa y logarítmicamente proporcional a su distancia del continente, conforme a esta expresión:

$$S = cA^z$$

en donde c y z son constantes dependientes del grupo taxonómico que se trate y relacionadas con su mayor o menor facilidad de dispersión y con el equilibrio entre inmigración/especiación y extinción.

Toda área inicialmente vacía y confinada puede terminar albergando un número dado de especies que depende de su extensión, esto es, de la variedad de hábitats o ecosistemas distintos que puede ofrecer, y que finalmente se establece como un equilibrio entre los incrementos positivos debidos a la inmigración (que depende de la distancia al área de origen de emigración o «continente») y los negativos debidos a la extinción.

Paradójicamente, un área natural protegida –un Parque Nacional, una Reserva Integral, etc.– al ser considerada como una zona insularizada, comienza a perder especies, pese a esa misma protección y desde el comienzo mismo de esa protección, por el efecto «océano» de las tierras circundantes modificadas o no protegidas, hasta alcanzar su biodiversidad potencial máxima, que es función de su superficie y de la proximidad y conexión con otras áreas naturales.

Por tanto, se puede establecer una suerte de «geometría» o mejor topología de la conservación científica de la naturaleza que nos dé algunas pautas técnicas objetivas sobre el diseño de los Espacios Naturales Protegidos: por ejemplo, es mejor una gran área que muchas pequeñas, o caso de varias, es mejor que estén conectadas entre sí (por medio de corredores verdes) que aisladas, etc. De mayor alcance aún es que estas técnicas evaluadoras nos pue-

[13] R. Mac Arthur and E. O. Wilson: *The Theory of Island Biogeography,* Princeton, Univ. Press, 1967.

den sugerir con cierta precisión qué cantidad máxima de territorio puede ser modificado drásticamente y cuál debe ser conservado para que los sistemas físico-vitales sigan operando y controlando esos bienes intangibles de conservación de suelos y fertilidad, regulación del ciclo hidrológico, mantenimiento de la biodiversidad, estabilización del clima, etc.

Por eso, uno de los aspectos más preocupantes de las modificaciones globales o planetarias del entorno es el de la fragmentación territorial. La proliferación de infraestructuras u obras públicas –presas, vías de comunicación, etc.–, de áreas de cultivo y urbanas, etc., está reduciendo a islas las zonas que todavía conservan ecosistemas aislados, pero estas zonas a partir de cierto tamaño y aislamiento dejan de ser viables y desaparecen: ¿Cuál es el fragmento de selva amazónica mínimo operativo? Este tipo de preguntas es una cuestión decisiva que los científicos intentan en la actualidad responder.

«Con ruedas, alas y cohetes
los extranjeros han encogido su terreno
(que es mil veces más ancho que el vuestro)
a un simple prado con estanque de patos[14].
Mas no corráis más de lo que corre el hombre.
ni os elevéis más de lo que un hombre salta,
contad las distancias por jornadas a pie,
y respetad la espaciosidad fértil de la tierra.»

Robert Graves

Siete días en Nueca Creta

Apuntes para una historia del estudio de la «jibarización» del planeta

«En la historia del pensamiento occidental los hombres han hecho de modo persistente tres preguntas relativas a la tierra habitable y sus relaciones con la misma. La tierra, que constituye de manera obvia un medio apropiado para el hombre y la vida orgánica en general ¿es una creación hecha con un propósito? Sus climas, su relieve, la configuración de sus continentes ¿han influido en la naturaleza moral y social de los individuos y en moldear el carácter y la naturaleza de la cultura humana? En el transcurso de su larga posesión de la tierra ¿cómo la ha cambiado el hombre a partir de su hipotética condición original?»[15].

[14] Quizá «un prado con un estanque de patos» y ahora irremisiblemente ensuciado (contaminado) es lo que realmente es, mal que nos pese, Doñana.

[15] C. J. Glacken: *Huellas en la playa de Rodas*; Eds. del Serbal, Barcelona, 1996 (orig. ingl. Univ. of California, 1967).

De las tres preguntas enunciadas arriba, objeto del magistral y poco difundido libro de Glacken sólo nos vamos a ocupar aquí de la última, también la más tardía en intentar ser respondida.

Desde los años cincuenta y a través de las revistas *The Geographical Review* y *Landscapes* se va revelando el interés de muchos investigadores por la acción del hombre sobre su entorno a lo largo de la historia. La obra pionera de G. P. Marsh *Man and Nature* fue la culminación de un interés muy reciente o, al menos, retomado tras un largo periodo de olvido que transcurrió desde la Antigüedad hasta los siglos XVIII y XIX, en los que el comparativamente rápido desarrollo colonial europeo en América del Norte hizó resurgir de nuevo el interés por el tema. Para muchos autores, como Lewis Munford, la obra pionera de Marsh supuso el origen del movimiento conservacionista norteamericano; no en vano el subtítulo era bien explícito: «Geografía física tal como ha sido modificada por la acción del hombre». Antes del americano en el siglo XVIII el francés Buffon, siguiendo al alemán Peter Simon Pallas, habían sostenido la capacidad de culturas antiguas para transformar su entorno.

El grupo de geografía de Berkeley dirigido por Carl O. Sauer había abordado el problema de la transformación de los paisajes naturales como resultado de la acción —humana en EE.UU. Poco a poco, el papel del hombre en la naturaleza fue siendo objeto de estudios hasta el famoso, aunque hoy un tanto olvidado, simposio de 1955 en Princeton sobre *«El papel del hombre en la transformación de la faz de la Tierra»* del que es deudor, y no sólo del título, este escrito.

Esta reunión científica –*Man´s Role in changing the Face of the Earth*–, publicada en forma de libro un año después con el mismo título por William Thomas Jr, estaba organizada por éste y por el mentado Carl Sauer y actuaban como ponentes Lewis Munford, influyente por sus trabajos desde los años treinta, y Marston Bates. Un joven geógrado discípulo de Sauer, Clarence Glacken, devoto de Munford, estaba también presente.

Desde los tiempos antiguos, los cambios operados por el hombre en su medio y la influencia de este último sobre el primero –Acción y Reacción biológicas– han tenido historias independientes, nunca bien conciliadas, por sorprendente que resulte, y como señala el propio Glacken, con diferentes presupuestos que no fueron confrontados hasta bien entrado el siglo XIX.

Glacken se confesaba impresionado por el trabajo de Munford *Técnica y civilización* (1934) y el posterior *La ciudad en la historia* (1961). En la reunión aludida Glacken presentó una ponencia sobre las ideas cambiantes acerca del mundo habitable que resumía su tesis doctoral, extendiéndose desde Platón a Vavilov y los geógrafos culturalistas. En este trabajo aludía al debate del determinismo geográfico –hoy diríamos «ambiental»–, reconociendo la libertad del hombre y –algo que hoy no llamaría la atención– la potencia de la acción humana sobre la tierra; por ello se extrañaba de que la noción del determinismo hubiera tenido tanta influencia durante el XIX, precisamente

cuando esa potencia transformadora del hombre llegaba a cotas nunca alcanzadas[16].

En una reunión posterior organizada por Ray Fosberg sobre «El papel del hombre en los ecosistemas insulares», Glacken hizo una presentación temprana de sus ideas en un artículo «This growing second world within the worl of nature» (1963) en el que traza la historia del pensamiento ecológico –con prevalencia temporal a muchos otros autores– y explica el interés ya alcanzado en el Medievo por temas que hoy denominaríamos ambientales.

Curiosamente, todos estos trabajos están hoy más bien olvidados; precisamente cuando el papel transformador del hombre sobre la faz de la Tierra se ha acusado en órdenes de magnitud hace pocas décadas inimaginables.

Fragmentación y «monotonización» del paisaje español.

Diversos factores mutuamente coadyuvantes, como la desertización demográfica del centro de la Península (España como un «atolón» demográfico), la desaparición creciente de la población campesina y la emigración hacia las áreas metropolitanas, así como la especialización, mecanización y monotonización de los cultivos (no sólo agrícolas, también forestales y pecuarios) ha generado un paisaje «total» español completamente diferente al de hace sólo unas pocas décadas.

En general se ha perdido lo que González Bernáldez llamaba *mosaicismo* y también la *vectorialidad*[17], siguiendo a los geógrafos de la escuela soviética como V. N. Sólntsiev que sistematizara algunas propiedades de los denominados geosistemas. Por ejemplo, los fenómenos zonales (pisos, bandas, catenas, etc.) o los fenómenos unidireccionales, como las relaciones geoquímicas que corresponden a esa *orientacionalidad* o *estructura vectorial,* y los fenómenos que en el plano representan «teselas» agrupables en unidades mayores, delimitadas por setos, ribazos, lindes y fronteras diversas (lo que los franceses, por ej., llaman «bocage»). Así, en territorios donde dominan los fenómenos vectoriales: gradientes diversos, como el de altura, granulométrico, etc., como en la montaña, dominarán los procesos vectoriales; en tanto que en terrenos ondulados dominarán los procesos celulares o mosaicistas. En las extensiones llanas de gran entidad dominarían los fenómenos equipotenciales o zonales (por ejemplo, la clasificación de suelos soviética de Dokuchaev está claramente inspirada en esos conceptos).

La monotonización de los espacios rurales y la acentuación de una dicotomía creciente entre *áreas metropolitanas o megaurbanas* y áreas no ya rurales o naturales, sino *áreas «vacías», expectantes* o incluso abandonadas o vacantes propician la desaparición tanto de la vectorialidad (procesos de gra-

---

[16] Véase el prólogo de Horacio Capel a la edición castellana de *Huellas...* de Glacken.

[17] F. González Bernáldez, *Ecología y paisaje*; Madrid, 1981.

dientes y circulación esenciales para el funcionamiento de los sistemas territoriales –geosistemas, ecosistemas, etc.–), lo que genera desequilibrios diversos, desde erosión a incendios de rango catastrófico o inundaciones, como del mosaicismo o celularidad, generando esa monotonización del paisaje aludido.

Por ejemplo, la vieja distinción entre «ager», «saltus» y «silva» romana que podía interpretarse como una transformación o antropización creciente en círculos concéntricos cada vez más lejanos desde el centro urbano o «polis», desaparece.

La inexistencia o al menos rarefacción del campesinado, aún sin mitificar el papel del «campesino como guardián de la naturaleza», genera rápidas evoluciones de territorios «naturales» secularmente adaptados a la interacción con el hombre (véase el caso de Lunerburger Heyde), cambios precipitadamente saludados con alborozo por algunos sectores ecologistas o conservacionistas (seudoselvas del abandono, montes «butaneros») que son en realidad readaptaciones a esas nuevas situaciones. Los impropiamente denominados en nuestros ámbitos geográficos espacios «naturales» pasan de ser zonas acomodadas a esa interacción antrópica campesina a zonas apetecidas y, por consiguiente, presionadas, consumidas por el ocio urbano.

Como veremos, las dimensiones catastróficas de los incendios forestales se explican sobre todo por este hecho y no por las causas «secundarias» (pirómanos, imprudencias, especies repobladas, etc.) habitualmente invocadas. En suma, el territorio se monotoniza, interrumpe su vectorialidad, destruye su mosaicismo y se *dicotomiza* en dos territorios supuestamente complementarios: campo y ciudad, pero en realidad ambos resultado de la hegemonía urbana actual. La metrópoli se convierte en un «agujero negro» demandante de materia, energía e información a costa de la explotación, simplificación y arrasamiento de un amplio territorio vacante depositario de esas demandas netamente urbanas, incluyendo entre esas demandas urbanas la llamada «naturaleza».

Los territorios nominalmente calificados de naturaleza, incluso clasificados legalmente como tales (Espacios Naturales Protegidos), se convierten en islas, zonas confinadas rodeadas de territorios vacantes, océanos vacíos desrregulados, que condenan a una pérdida neta de biodiversidad a lo que se pretende proteger en su interior. En realidad se convierten en una coartada o patente de corso para transformar radicalmente o peor aún abandonar el resto del territorio rural no protegido oficialmente. Es pues lógico que privadas de ese subsistema regulador humano –campesino–, sustituido por el desregulador de visitantes o consumidores de naturaleza, las áreas nominalmente protegidas deban suplir esas carencias reguladoras por intentos denodados que incluyen hasta el funcionario que suelta el lince.

El caso de los incendios forestales a título de ejemplo

En la región mediterránea el fuego forestal ha existido siempre («fuegos han habido miles desde siempre» –comentaba un payés de Bargueda, la zona

interior de Cataluña entre Lérida y Barcelona en la que ardieron en el mes de julio de 1998 más de 20.000 has– «pero nunca fueron estas *catástrofes de ahora»;* el subrayado es mío), pero lo inédito es esa dimensión catastrófica o de falta de autorregulación actual. El principio de que todo evento catastrófico es tanto más improbable cuanto mayor es su dimensión deja de cumplirse. (Igual ocurre con las avenidas o inundaciones y por causas similares; en este último caso por la impermeabilización del territorio –asfaltado, cimentación– que implica aumento de la escorrentía en detrimento de la infiltración; esto es, de la circulación rápida y superficial de ritmo corto, frente a la circulación lenta e interior; véase las inundaciones en Europa del año 95-96).

La monotonización de los denominados «bosques» (sustituidos por monocultivos madereros de ciclo corto), que de sistemas «horizontales» complejos agro-silvo-pastoriles pasan a sistemas «verticales» cultivo maderero-industria de transformación; la desaparición del campesinado regulador y la expulsión de sus labores de regulación y presencia constante; la afluencia masiva de una demanda urbana de supuesta naturaleza virginal; todo ello son factores sinérgicos del incremento de la dimensión catastrófica de los incendios (incluido, aunque parezca paradójico, la «eficiencia» obsesiva para apagar los incendios de pequeña o mediana dimensión).

La repoblación masiva llevada a cabo con unas pocas especies –sobre todo pinos y eucaliptos– desde hace cuarenta años es a la vez un factor de esa monotonización y una explicación parcial de esa dimensión catastrófica de los incendios forestales actuales. En los pinares mediterráneos el fuego es un fenómeno natural –un agente modelador del paisaje, un factor ambiental de ese ecosistema– que limpia el exceso de materia orgánica no descompuesta (los pinares son malos formadores de suelos), pero los incendios de grandes dimensiones se producían una o dos veces por siglo, no dos o tres veces por década. (Hay que añadir también la abundancia de resinas, trementinas y sustancias inflamables que poseen las especies que preferentemente se utilizan para estos cultivos madereros). Además esos cultivos, mal llamados repoblaciones, usurpan territorios antes más ricos, diversos, mosaicistas y vectoriales, expulsando otras actividades reguladoras y especialmente la ganadería extensiva. Matorrales, eriales, pastizales, etc. son sustituidos por estos cultivos. Simultáneamente, la población rural se ha reducido a la tercera parte de la que existía en 1940 y a la vez la demanda-visita a estas áreas desde las urbanas se ha multiplicado por factores de cien y de mil. Paralelamente, el consumo de leña ha disminuido desde esa misma fecha a la décima parte.

Así se ha pasado de una situación como la de los inicios de los años 60, en que ardían unas 20.000 has por año con pocas variaciones de un año a otro a la disparatada situación actual con oscilaciones entre las 50.000 has en los años «mejores» y las 200.000 en los peores (la extensión de una provincia como Guadalajara).

Es interesante comprobar cómo dichos procesos no ocurren en zonas donde permanece una gestión compartida y comunal de los montes, como en

la Tierra de Pinares en Burgos y Soria, especialmente en la zona de Vinuesa, prácticamente ausente de incendios de dimensiones importantes, y compararlas con las zonas de récords de incendios como Galicia o el País Valenciano. El procedimiento de este pueblo rico en rentas forestales y ganaderas es la de entresacas de madera de montes divididos en 70 cuarteles[18]; se considera que 70 años es suficiente para mantener la renovabilidad del bosque, su regeneración; pero este procedimiento de explotación sostenible es la excepción, no la regla en el panorama español. Por supuesto gran parte del éxito es atribuible a la propiedad comunal de esos montes cuyos beneficios se reparten extensamente entre los habitantes de esa comarca. Compárese con las rentas de los campesinos gallegos que de las repoblaciones de pinos y eucaliptos obtienen más bien estorbos para el discurrir de sus actividades tradicionales de cría de ganado y otros ancestrales derechos de explotación del territorio.

El incendio forestal antes era muy a menudo provocado y controlado. Precisamente ahora, cuando son incontrolados, más se genera una paranoia de intencionalidad (los famosos y escurridizos pirómanos), cuando más se habla de ser provocados es cuando menos lo son; o, al menos, eso no es lo relevante.

El nuevo marco territorial

Entre la ciudad y la naturaleza hasta hace poco existía un continuo intermedio suavemente antropizado o transformado en diversos grados. Ahora hemos pasado en muy poco tiempo a una situación completamente distinta: de un lado, una mítica naturaleza supuestamente virginal (y nunca lo es, al menos en nuestras latitudes) objeto de crecientes demandas más o menos bienintencionadas que podríamos denominar «Mickey Mouse Ecology»; confinada, insularizada, aislada, desconectada; de otro lado, metrópolis absorbedoras netas de materia, energía e información, explotadoras –no hablo en sentido peyorativo, sino estrictamente ecológico del término explotación– y entre ambas, espacios vacantes crecientemente degradados, restos de un ámbito rural en acelerado proceso de desmantelamiento, monotonizados o especializados productivamente (monocultivos) en exceso.

De los antiguos centros de población sutilmente conectados entre sí a través de territorios suave y secularmente modificados por las culturas campesinas hemos pasado a una densa malla o retícula asfaltada, cementada y urbanizada en la que los espacios residuales menos modificados, lo que ahora se conoce como naturaleza, pierden su conexión entre sí, lo que les conduce a un empobrecimiento inexorable pese a todas las buenas intenciones que pueda tener la cosmética gestión actual. Igualmente se pierden todos los restos natu-

[18] J. A. Millán, *Una tierra abierta*, Madrid, 1995.

rales o cuasinaturales de conexión que generaban el rico mosaico anterior. La gestión del agua, la de los incendios y la de la propia conservación de la naturaleza o, como hoy se dice, de la biodiversidad fracasan en gran parte por no ser conscientes de este nuevo marco territorial

MODELOS E INDICADORES PARA CIUDADES MÁS SOSTENIBLES

SALVADOR RUEDA
Dpto. de Medio Ambiente de la Generalitat de Cataluña

MODELOS E INDICADORES URBANOS

El propósito de este documento es promover la discusión sobre tres aspectos que hoy son motivo de reflexión para muchos equipos de trabajo en toda Europa. El primero aborda el marco teórico y la metodología de aproximación a los indicadores urbanos, comparando el modelo analítico: presión, estado, respuesta, con el modelo analítico-teórico: sistema-entorno. El segundo presenta, bajo el prisma teórico del modelo sistema-entorno, un conjunto de modelos e indicadores básicos de la ciudad y su metabolismo. En el tercero se presentan algunos indicadores de apropiación humana de los recursos naturales, a escala global, que ilustran la limitación, para nuestros intereses, de los recursos básicos en el Planeta y de la capacidad de los sumideros de la Tierra.

INTRODUCCIÓN A LA UNIDAD SISTEMA-ENTORNO

Descriptores, indicadores e índices urbanos

Descriptores urbanos

Los descriptores urbanos son parámetros o variables que reflejan cuantitativamente una determinada realidad urbana sea física, económica o social. Sus valores permiten «describir» la realidad en estudio, pudiéndolo hacer bajo ciertos criterios intencionales, por ejemplo: representación gráfica de las aceras de más de 2 metros de ancho. Estos parámetros son muy adecuados para establecer estándares urbanos que permitan luego dibujar el perfil de calidad urbana de una determinada ciudad. Descriptores de habitabilidad y calidad de vida pueden establecerse en el sentido antes señalado.

Indicadores e índices urbanos

En la literatura actual se pueden encontrar diversos esfuerzos de definición de indicador urbano. Partiendo de ellos se puede concluir que: Un indicador urbano es una variable o estimación urbana que provee una información agregada, sintética, respecto a un fenómeno más allá de su capacidad de representación propia. Es decir, se le dota exógenamente de un significado añadido.

Un indicador urbano es pues una variable que ha sido socialmente dotada de un significado añadido al derivado de su propia configuración científica, con el fin de reflejar de forma sintética una preocupación social con respecto al medio ambiente o insertarla coherentemente en el proceso de toma de decisiones

Ya la definición de indicador urbano explicita el carácter social del mismo y del sistema estadístico que implica. Eso tiene traducciones prácticas muy significativas, que van desde la definición de los objetivos de un sistema de indicadores hasta los procedimientos de construcción de este aparato estadístico y que hacen de los indicadores urbanos, entre ellos los ambientales, un genuino producto estadístico social.

Algunos sistemas de indicadores no se satisfacen con seleccionar una o más variables descriptivas de un fenómeno ambiental de interés social como mecanismo de síntesis de la información necesaria para tomar decisiones, sino que fusionan la información contenida en varias de ellas en una sola expresión numérica. La magnitud resultante de tal fusión se denomina índice, y es una magnitud adimensional pues resulta de la adición ponderada, según el procedimiento que se elija, de diversas unidades de medida.

Un índice urbano posee las mismas características que el indicador pero su carácter social es aún más acentuado, dada la aleatoriedad que rodea todo proceso de ponderación. El beneficio obtenido se traduce en una mayor síntesis de la información relevante y una mayor eficacia como input en la toma de decisiones.

El sistema de indicadores urbanos es un conjunto ordenado de variables sintéticas cuyo objetivo es proveer de una visión totalizadora respecto a los intereses predominantes relativos a la realidad urbana de que se trate.

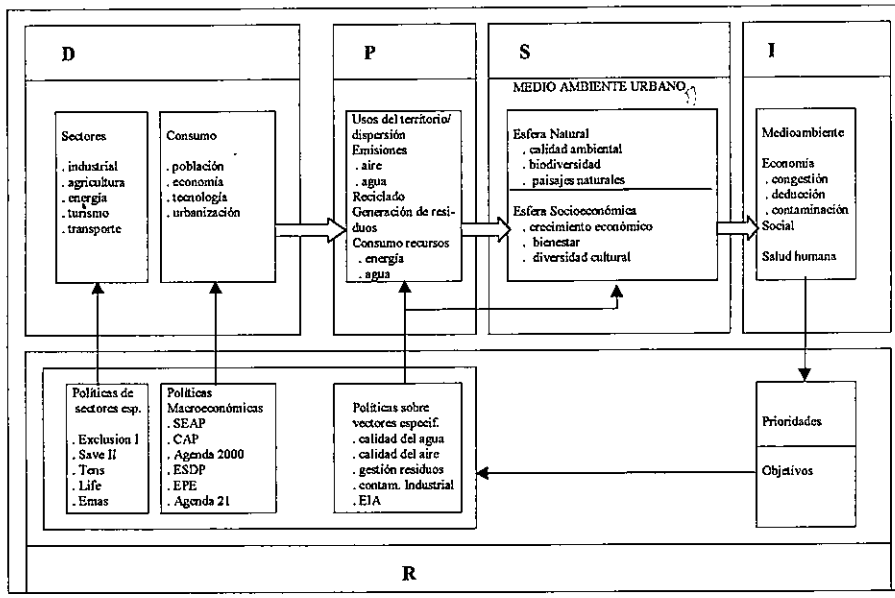
Son aspectos relevantes en la materialización de este sistema el establecimiento de unos criterios de selección de indicadores y de un procedimiento de elaboración del mismo caracterizado por una interacción estrecha entre el mundo científico, el institucional y los diversos grupos sociales e individuos interesados, cuyo resultado final debe ser la validación socio-política del sistema, pilar sobre el que se sustenta su credibilidad.

La inclusión de los indicadores en estructuras analíticas comunes: el modelo presión-estado-respuesta (P-E-R)

La presentación de un número determinado de indicadores, por áreas o temas ambientales o urbanos, requiere que éstos se encuentren organizados en un marco lógico que ayude a su inteligibilidad y facilite la comunicación. Esta estructura analítica potencia la función de los indicadores como medio de información, antes que sus propiedades intrínsecas.

Hoy, el marco de análisis dominante es el denominado de Presión-Estado-Respuesta, desarrollado por primera vez por Frien y Rapport (1979). Este marco, introducido con fuerza en el conjunto de países de la OCDE al haber constituido el modelo de desarrollo de indicadores ambientales de ese organismo internacional, se basa en el concepto de causalidad «las actividades humanas ejercen presiones sobre el medio y cambian su calidad y la cantidad de los recursos naturales. La sociedad responde a esos cambios a través de políticas ambientales, sectoriales y económicas. Esto último crea un bucle hacia las actividades humanas de presión. En términos generales, estos pasos forman parte de un ciclo de política ambiental que incluye la percepción del problema, la formulación de políticas, y el seguimiento y evaluación de las mismas» (OCDE, 1994).

Cuadro 1. La DPSIR de la Agencia Europea de Medio Ambiente para impactos urbanos muestra las interconexiones entre sectores económicos (D), la presión (P), el estado (S), los impactos (I), y las respuestas (R). Es el modelo de la OCDE ampliado.



Fuente: EEA.

El sistema considera entonces la necesidad de desarrollar tres tipos de indicadores para abordar cada uno de los temas o áreas políticas o socialmente relevantes:

a) De presión, incluye presiones directas e indirectas. Directas son, por ejemplo, las de los incendios. Indirectas serían, por ejemplo, las presiones sobre la biodiversidad derivadas de la construcción de carreteras.
b) De estado del medio ambiente, descriptivos de la calidad del medio, incorporando la calidad de los recursos naturales (flora, fauna, suelo, aire y agua) y la calidad de estos recursos asociada a procesos de explotación socioeconómicos.
c) De respuesta, indicadores de los esfuerzos en términos de políticas ambientales y de recursos naturales.

La utilidad de este modelo es que se adapta a los pasos de un modelo decisorio cualquiera y que, por otra parte, es común a la forma de pensar de quienes deciden y de la comunidad científica. La simplicidad del mismo sugiere relaciones lineales entre las partes, oscureciendo relaciones más complejas dentro de los ecosistemas y relaciones también complejas entre éstas y otros sistemas, como el social o el económico.

La demanda de información clara, simple y agregada para la descripción de un problema sobre el que decidir, se enfrenta en este modelo con la ausencia de un marco teórico apropiado, lo que dificulta el discernimiento entre diversas informaciones sin jerarquía teórica alguna. Frente a tal carencia, se opta en muchas ocasiones por integrar un alto número de variables en el sistema, por temor a dejar variables significativas, retornando al punto de partida a saber, una cantidad ingente de datos que no transmiten la información para tomar decisiones.

La inclusión de los indicadores urbanos en modelos teóricos integradores: el modelo sistema-entorno

Todos los sistemas individuales y ecosistemas en la naturaleza tienen tendencia a aumentar su complejidad en el tiempo. En efecto la evolución de las especies y la sucesión en los ecosistemas nos muestran un camino de organizaciones sucesivas cuya tendencia es el aumento de la complejidad. Una tendencia que consigue, en el siguiente paso, controlar mejor las variables del entorno y asegurar mejor el futuro.

El «control» de las variables del entorno supone la capacidad de anticipación que tiene el sistema para acomodarse a los mensajes en forma de flujos materiales, energéticos y de información que le manda su entorno (el entorno es también un sistema).

El entorno a su vez, recibe mensajes en forma de flujos provenientes del sistema y su estructura y organización se mantiene entre determinados límites en función de los reguladores que éste tenga. La sensibilidad del sistema depende de las características de dichos reguladores. Si son débiles, el entorno modificará su organización fácilmente y con ella los mensajes en forma de flujos, pudiendo con ello, romper el equilibrio, o si se quiere superando la capacidad de anticipación del sistema, impactando sobre éste. El resultado del impacto puede conducir a la desaparición del sistema o bien a su reorganización.

Esta relación entre el sistema y su entorno la estableció de manera precisa M. Conrad (1983) en su libro Adaptability y J. Wagensberg, la amplió universalmente. Según los autores citados los ecosistemas de la Tierra, entre ellos los sistemas urbanos, siguen la siguiente igualdad:

La complejidad - la capacidad de anticipación = la complejidad del entorno - su sensibilidad
del sistema de este

Que expresado en términos de la teoría de la información:

$H(S) - H(S/E) = H(E) - H(E/S)$

De acuerdo con J. Wagensberg (1994), si consideramos el sistema como fuente donde origina un mensaje destinado al entorno, la cantidad de información original contenida en el sistema depende de su diversidad potencial de comportamientos. Es lo que se denomina complejidad del sistema H(S).

Si ahora consideramos al entorno como una fuente del mensaje destinado al sistema, la información original depende, también aquí, de la riqueza de posibles comportamientos de la fuente, en este caso, el entorno. Es la complejidad del entorno H(E).

Pero no toda la información que sale del sistema llega al entorno. La primera equivocidad corresponde a la diversidad de comportamientos que disfruta un sistema, una vez se ha fijado cierto comportamiento del entorno. Cuanto menor sea la equivocidad, menores son las dudas del sistema respecto a su entorno y más limita el entorno las posibilidades del sistema. Es la capacidad de anticipación del sistema H(S/E).

La información del entorno que no llega al sistema, depende análogamente, de la variedad de estados del entorno compatible con un comportamiento dado del sistema, cuanto menor sea el valor, más afectado se encuentra el entorno por el comportamiento del sistema. Es la sensibilidad del entorno H(E/S).

La igualdad expresa la interdependencia íntima entre el entorno y el sistema, a la vez que indica que el traspaso de información entre el sistema y el entorno es igual. Para una profundización teórica del modelo y su ampliación ver (Rueda, S., 1995).

La permanencia en el mundo de cada sistema depende del mantenimiento de la igualdad y depende, en consecuencia, del equilibrio entre los cuatro

sumandos de la ecuación. La rotura de la igualdad significa la desaparición del sistema o su transformación en otro sistema diferenciado que proporciona una nueva igualdad (esto es lo que sucede, por ejemplo, cuando un organismo muta en el proceso evolutivo).

Hay cuatro términos para jugar y una ley que respetar. Cuando en la dialéctica sistema-entorno se esquivan todas las dificultades y no se viola la ley fundamental, entonces decimos que hay adaptación. El sistema se adapta. Pero adaptarse sólo es posible dentro de ciertos límites, es decir, por debajo de una variación máxima de las condiciones ambientales. Cuando esto no es posible, cuando una perturbación no puede ser absorbida por una respuesta de los otros tres, la adaptación se rompe y el sistema entra en crisis. El sistema entonces, o bien se extingue, o bien cambia a otra estructura, se autoorganiza (Wagensberg, J., 1994).

La magnitud de las incertidumbres que hoy proyectan los ecosistemas de la Tierra (probable cambio climático, agotamiento y apropiación excesiva de recursos, etc.), fruto de la presión que ejercen, sobre todo, los sistemas urbanos (son los sistemas humanos que mayor impacto provocan sobre el conjunto de sistemas de la Tierra), nos obligan a repensar los modelos de gestión que gobiernan nuestras ciudades, con el fin de mantener los equilibrios con el entorno que nos aseguren el futuro.

El análisis de cada uno de los componentes significativos de la unidad permite describir los modelos actuales de gestión con que los sistemas urbanos actúan y el grado de explotación e impacto al que someten al entorno. Un análisis más profundo nos permite identificar las variables con una menor flexibilidad y por tanto los indicadores que podrían establecerse para hacer un seguimiento de tendencias de la unidad SISTEMA-ENTORNO en su proyección de futuro.

Este es un marco teórico que incluye y trasciende al modelo analítico: presión-estado-respuesta, ya que la «presión» se refleja en la sensibilidad del entorno, el «estado» se corresponde con la complejidad y su variación en los sistemas de soporte y la del propio sistema urbano y la «respuesta» coincide con la capacidad de anticipación del sistema. Es un marco teórico que trasciende el modelo P-E-R ya que, como veremos, los modelos de gestión que dan sentido al aumento de la capacidad de anticipación, tienden a preservar la igualdad expuesta y sus equilibrios, informándonos de la direccionalidad que deben tomar las decisiones. El modelo sistema-entorno nos proporciona el marco teórico que no incorpora el modelo P-E-R.

Los modelos de gestión en la unidad sistema-entorno

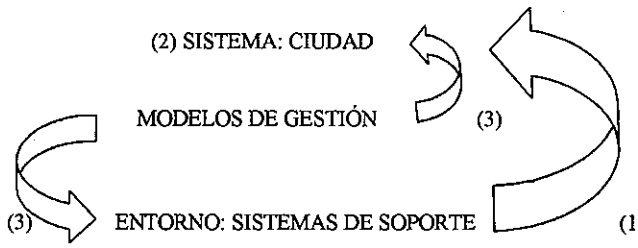
Los modelos que a continuación se analizan de modo sintético tienen que ver con el metabolismo urbano, con la ordenación del territorio y también con el funcionamiento del sistema.

En cada uno de los esquemas que se exponen, se dibuja en la parte superior el SISTEMA, en este caso la ciudad y, en la parte inferior, su ENTORNO. Los flujos de la parte derecha del esquema expresan el grado de explotación (el grosor de las flechas es proporcional a los flujos que se quiere representar) a que sometemos a los ecosistemas de soporte (entorno) y los de la izquierda el nivel de impacto. Los esquemas recogen el contenido de los sumandos que constituyen la unidad (igualdad) sistema-entorno.

Esquema gráfico de la unidad sistema-entorno

(1) Los sistemas urbanos explotan a los sistemas de soporte extrayendo materias primas y ejerciendo una primera presión sobre ellos. Como es obvio, la explotación ejercerá un mayor o menor impacto en la organización de los sistemas de soporte (complejidad del entorno) en función de su intensidad y de la fragilidad del propio entorno (sensibilidad).

Figura 1



(2) Los materiales y la energía extraídas del entorno llegarán a la ciudad más o menos transformados y elaborados (materias primas y bienes de consumo) de modo que le permita a ésta mantener y aumentar, si cabe, su organización (complejidad del sistema).

(3) Los modelos de gestión (son los que pueden aumentar o disminuir nuestra capacidad de anticipación), organizan los flujos y el consumo de recursos. Los modelos determinan el grado de explotación del entorno y el impacto que proyectan sobre éste y sobre el propio sistema urbano.

MODELOS E INDICADORES URBANOS DE OCUPACIÓN DEL TERRITORIO: LA CIUDAD COMPACTA Y LA CIUDAD DIFUSA

A continuación se resumen los aspectos básicos de dos modelos antagónicos representados por la ciudad compacta y compleja y por la ciudad difu-

sa, dispersa en el territorio. Sabemos que estos modelos no se encuentran en la realidad en estado puro y, por lo tanto, lo que se expone más adelante no deja de ser una simplificación que tiene su justificación en facilitar el hilo de la exposición sobre todo en marcar dos polos extremos que nos ayuden a situar, luego, los modelos de cada ciudad con relación a éstos; saber si nos acercamos más o menos al modelo de ciudad compacta o al modelo de ciudad difusa. El panel de indicadores que se propone pretende hacer un diagnóstico aproximado de la situación de la ciudad en estudio, con relación a los modelos teóricos que aquí se dibujan.

Los dos modelos se representan en sendos esquemas, donde se puede comprobar que en el modelo de ciudad difusa el consumo de suelo y el deterioro que causa en los sistemas de soporte, así como el consumo de energía y materiales extraídos de dichos sistemas para mantener la organización urbana, es mayor que el correspondiente al modelo de ciudad compacta. Lo mismo sucede con relación a los flujos contaminantes proyectados sobre los sistemas de soporte de ambos tipos de ciudad, debido a los modelos de movilidad, edificación y servicios asociados de cada modelo urbano. Se incluye también una primera representación de la complejidad en forma de mensaje con iconos (recuadros con figuras en los esquemas), en el caso de la ciudad difusa el mensaje es repetitivo y simple, y es diverso y complejo en la ciudad compacta.

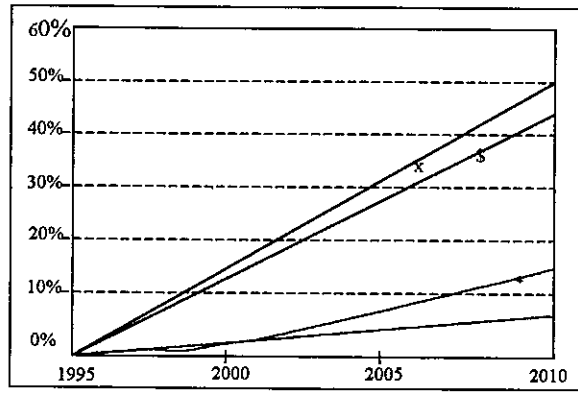
Cuadro 2. Comparación entre los modelos de ciudad compacta y ciudad difusa desde el marco de la unidad sistema-entorno

		Modelo de ciudad difusa		Modelo de ciudad compacta	
Presión sobre los sistemas de soporte por explotación		Nivel	Causa	Nivel	Causa
Consumo de materiales	Para la producción y el mantenimiento del modelo urbano	>	La dispersión de la edificación y las infraestructuras. La superficie edificada por habitante es mayor. Tipología edificatoria con mayor mantenimiento.	<	La proximidad entre usos y funciones supone un menor consumo de materiales. La superficie edificada/habitante es menor. Tipología edificatoria con menor mantenimiento.
Consumo de energía	En relación al modelo de movilidad.	>	El modelo de movilidad descansa en el vehículo privado.	<	La mayoría de viajes se pueden realizar a pie, bicicleta o en transporte público.
	En relación a las tipologías edificatorias.	>	Se consume más energía en las tipologías edificatorias unifamiliares.	<	Las demandas energéticas en bloques de apartamentos es menor.
	En relación a los servicios	>	Dispersión de las redes.	<	Por proximidad de las redes.
Consumo de agua	En relación a las tipologías edificatorias	>	Consumo en jardín, piscina, etc.	<	En edificación plurifamiliar es menor.

Cuadro 2. Comparación entre los modelos de ciudad compacta y ciudad difusa desde el marco de la unidad sistema-entorno (continuación)

		Modelo de ciudad difusa		Modelo de ciudad compacta	
Presión sobre los sistemas de soporte por impacto		Nivel	Causa	Nivel	Causa
Consumo de suelo y pérdida de suelo llano y fértil.		>	Explosión urbana del modelo sin crecimiento demográfico.	<	Consumo restringido, supeditado al crecimiento de la población.
Pérdida de biodiversidad.		>	Insularización de los sistemas agrícolas y naturales por la expansión de las redes de movilidad.	<	Conservación de los sistemas agrícolas y naturales. Conservación del mosaico agrícola, forestal, pastos y setos, típico de la Europa templada.
Pérdida de la capacidad de infiltración de agua. Aumento de la velocidad del agua de lluvia caída hasta llegar al mar.		>	Impermeabilización de las áreas de infiltración y otras y canalización de cauces.	<	Conservación de las áreas de infiltración y los márgenes del cauce.
Emisión de gases de efecto invernadero.		>	Por un mayor consumo energético.	<	El consumo energético es menor.
Emisión de contaminación atmosférica.		>	Por el modelo de movilidad y el modelo energético.	<	Es menor por un menor consumo de energía y una mayor accesibilidad.
Mantenimiento y aumento de la organización del sistema urbano		Nivel	Causa	Nivel	Causa
Complejidad.		<	Las partes del sistema urbano se simplifican. Se separan los usos y las funciones en el espacio. En cada espacio solo contactan los portadores de información de características similares: los obreros con los obreros, en los polígonos industriales, los estudiantes con los estudiantes en el campus universitario.	>	Se consigue mayor diversidad de portadores de información en todas las partes del sistema urbano.
Compacidad y proximidad entre los portadores de información.		<	La dispersión de usos y funciones en el territorio proporcionan tejidos urbanos laxos.	>	La concentración edificatoria da lugar a tejidos densos y de usos y funciones próximos entre sí.
Cohesión social		<	Segrega a la población en el espacio según etnia, religión...	>	La mezcla de personas y familias con características económicas, etnias... supone una mayor estabilidad social porque aumenta el número de circuitos reguladores recurrentes.
Calidad urbana	Contaminación atmosférica.	<	La separación de usos permite obtener niveles de inmisión menores.	>	El uso más intenso del tejido urbano proporciona niveles de inmisión mayores.
	Ruido.	<	Es menor en ciertos tejidos urbanos y sensiblemente igual o mayor en otros.	>	La concentración de vehículos provoca un aumento de las emisiones ruidosas. La reducción del n.º de vehículos circulando puede suponer una disminución del ruido urbano.
	Espacio público.	<	Se reduce y se sustituye por espacios privados en grandes contenedores urbanos: deportivos, de compra, de transporte, etc.	>	La calle, y la plaza constituyen los espacios de contacto y de convivencia por excelencia, que pueden combinarse con el uso de espacios en grandes contenedores.

Figura 2. Prospectiva de algunos aspectos clave en los sistemas urbanos europeos



x consumo, $ GDP; * posesión de vehículos; — urbanización.

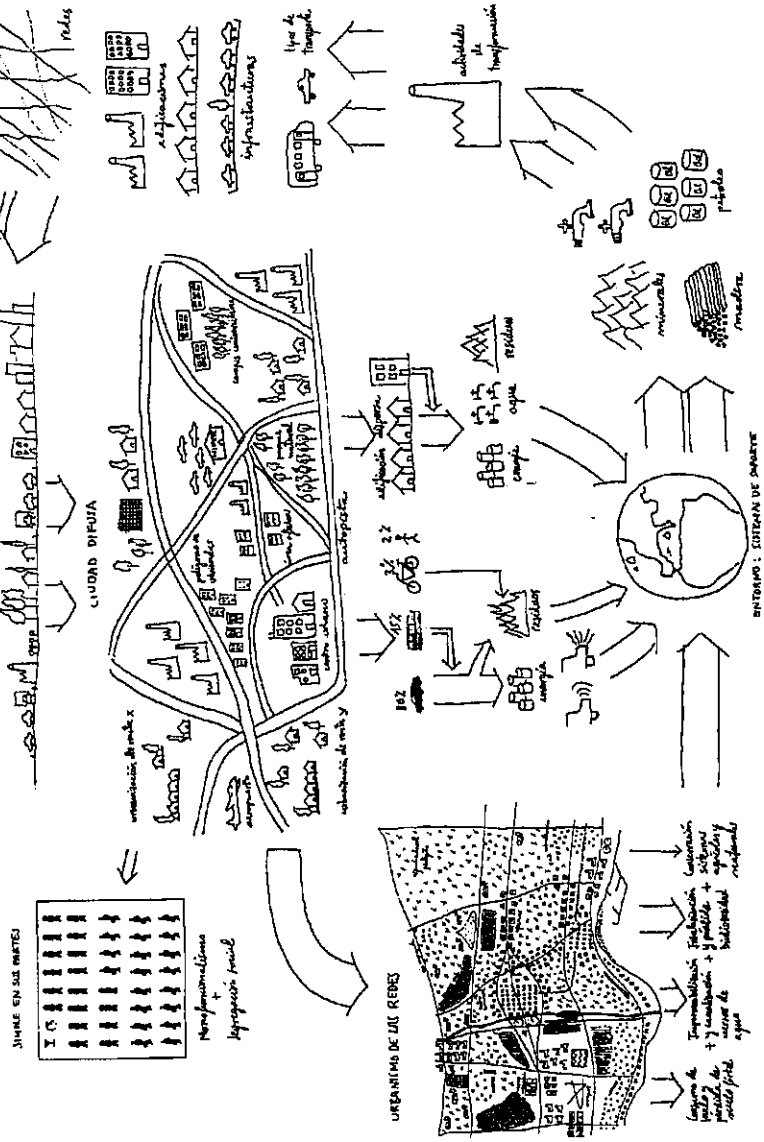
La urbanización se expresa como la fracción de individuos residentes en áreas urbanas (74,5% en 1995); el consumo (en b ECU) ascendió a 3,3 en 1995; la posesión de vehículos se calculó como el número de vehículos/1.000 habitantes (395 en 1995).

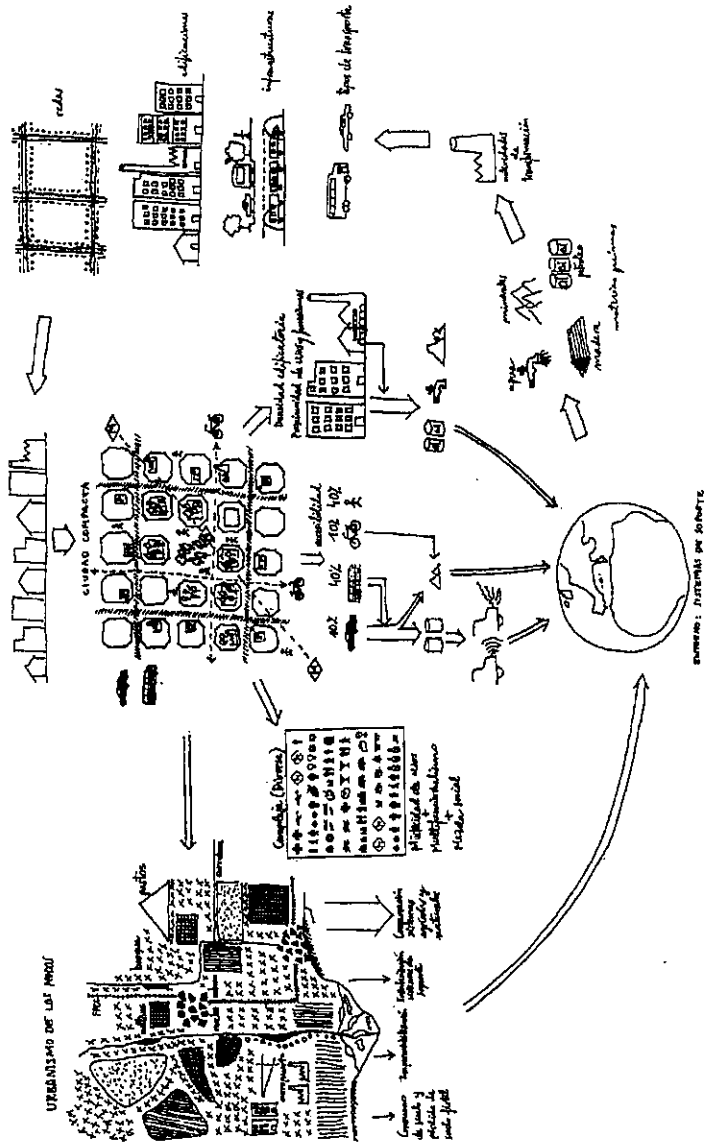
Fuente: EEA Fact Sheets on Societal Trends.

Cuadro 3

El rápido aumento del transporte privado y el consumo intensivo de recursos son las principales amenazas para el medio ambiente urbano y, en consecuencia, para el bienestar humano. En muchas ciudades, constituyen hoy el 80 por ciento del transporte mecanizado. Las previsiones relativas al crecimiento del transporte en Europa occidental indican que, en un escenario de «situación sin cambios», la demanda del transporte de pasajeros y mercancías por carretera podría llegar a duplicarse entre 1990 y 2010, con un aumento de la cantidad de automóviles de entre el 25 y el 30 por ciento, y un incremento del 25 por ciento en el número de kilómetros por vehículo. Se espera que, durante la próxima década, se acelere el crecimiento actual de la movilidad urbana y de la propiedad de automóviles en las ciudades de Europa central y oriental, con los correspondientes aumentos del consumo de energía y de las emisiones relacionadas con el transporte. EEA.

Figura 3. Modelos de ocupación del territorio: modelo de la ciudad difusa y ciudad compacta compleja





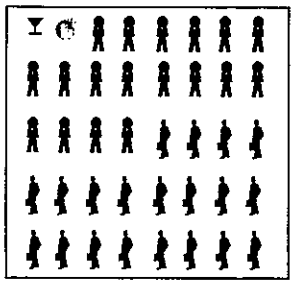
Modelo de ciudad compacta y diversa.

Cuadro 4. Indices e Indicadores básicos para el seguimiento de los modelos de ciudad

Enunciado	Formulación	Unidad de medida	Escala del Indicador	Incidencia	Descripción
La complejidad del sistema urbano (H)	$H = -\sum_{i=1}^{n} p_i \log_2 p_i$	Bit	Local	En el sistema urbano	H es la diversidad y su unidad es el bit de información. Pi es la probabilidad de ocurrencia. Indica el número de miembros que cumplen un peculiaridad en el conjunto de miembros de la comunidad. La diversidad (H) es una medida indirecta de la organización del sistema urbano calculada a través de la teoría de la información. Se trata de saber el número de portadores de información, con capacidad de contacto, en cantidad y diversidad en un mismo espacio. Los portadores de información del sistema urbano son las personas clasificadas por categorías y las actividades, entidades e instituciones.
Compacidad urbana (C)	Fórmula[1]	Adimensional. Su representación gráfica puede referirse a un área de referencia.	Local	En el sistema urbano	Es una medida de la «eficiencia» edificatoria en relación al consumo del suelo.
Compacidad corregida (Cc)	Fórmula[2]	Adimensional	Local	En el sistema urbano	Se relaciona la densidad edificatoria con la superficie de convivencia de carácter público: espacios verdes, plazas, aceras de ancho mínimo.
Consumo de energía (E)	E E/N E/Superficie E/P_I([3])	Kwh/a Kwh/hab/a Kwh/m²/a Kwh/P_I/a	Global (Local)	En el sistema urbano. Sobre los sistemas de soporte	La energía permite el funcionamiento y el mantenimiento de la organización del sistema urbano. Son interesantes las relaciones de energía con población, portadores de información y superficie urbana.
Eficiencia del sistema urbano (E_f)	E_f=E/H	Kwh/bits	Local	En el sistema urbano	Es una medida de la «eficiencia» del sistema urbano. Indica la cantidad de recursos (en este caso la energía) para mantener una información organizada determinada en el sistema urbano.
Influencia potencial del sistema (I_p)	I_p=H.E I_{pi}=P_I.E	bits.Kwh	Local	En el sistema urbano	Indica el poder de explotación de un espacio, entendiendo que éste es una función de la información organizada y de su consumo de energía. Entre dos espacios (A y B) que interactúan donde $I_{pA}>I_{pB}$ parece que el flujo neto de materiales y/o energía y/o información iría en la dirección de mantener o aumentar la complejidad de (A) y de simplificar o reducir la complejidad de (B).
Huella ecológica del sistema urbano (EF_p)	EF_p=N.(ef)	ha	Global	En los sistemas de soporte	Indica la superficie de suelo productivo necesario para mantener una población determinada, independientemente de donde sea que se encuentre este suelo.

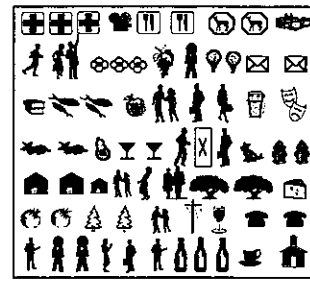
[1] C = (s² techo/s² suelo por parcela) (s² suelo por parcela)/s² urbanizada (s_1).
[2] Cc = (s² techo/s² suelo por parcela) (s² suelo por parcela)/s² espacios verdes y espacios públicos de convivencia.
[3] P_I = portadores de información.

La diversidad H la podríamos representar con un conjunto de iconos. Cada símbolo sería un portador de información. El conjunto de iconos da lugar a un mensaje que nos permite calcular su información.



Potadores de información en una urbanización de la ciudad difusa.

Figura 4



Portadores de información en un tejido urbano de la ciudad compacta.

En el caso de la ciudad difusa se intenta revelar la información contenida en una urbanización que tiene un conjunto de portadores de información muy pequeño, por ejemplo una tienda de comestibles, un bar y un conjunto de individuos con características muy similares (en principio no diferenciables). Si a cada símbolo dibujado le asignáramos una letra del abecedario, la lectura del mensaje sonaría algo así: a, b, cccc, ddddd,... la información contenida en el mensaje es muy reducida, es muy «simple». No ocurre lo mismo en el mensaje correspondiente a un área similar en la ciudad compacta; su lectura da idea de la complejidad del mismo, que de hecho representa la complejidad que atesor el propio espacio urbano seleccionado. El mensaje precisa los distintos portadores de información y el número de cada uno de ellos.

Cuadro 5. Indicadores complementarios para el seguimiento de los modelos de ciudad

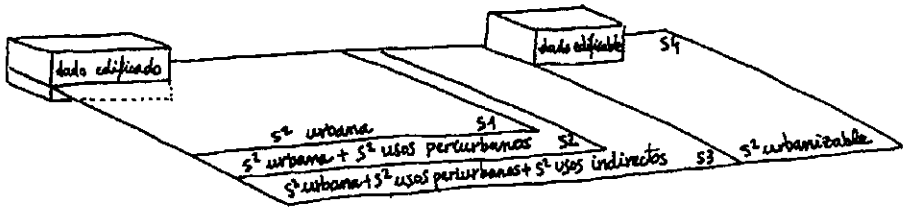
Enunciado	Formulación	Unidad de medida	Escala del Indicador	Incidencia	Descripción
Superficie urbana (S_1)	–	ha	Local	Sistema urbano	La superficie urbana es aquella que contiene los usos de vivienda, industria, comercio, almacenes, oficinas, parques, equipamientos y los usos compatibles con ellos, los cuales, mediante las relaciones a través de las redes, caracterizan el hecho urbano. Quedan excluidos los usos tradicionales de estos tipos, consolidados y ligados a la explotación de los recursos naturales.
Superficie urbana + superficie periurbana (S_2)	–	ha	Regional	Sistema urbano	La superficie de usos periurbanos es aquella que acoge usos del suelo incompatibles por sus efectos o tamaño con los usos definidores del suelo urbano. Incluye: aeropuertos, circuitos de carreras, depuradoras, cárceles, talleres ferroviarios, etc.

Cuadro 5. Indicadores complementarios para el seguimiento de los modelos de ciudad (continuación)

Enunciado	Formulación	Unidad de medida	Escala del Indicador	Incidencia	Descripción
Superficie urbana + superficie periurbana + superficie usos indirectos (S_3)	–	ha	Regional	Sistema urbano y sistemas de soporte	La superficie de usos indirectos incluye aquel conjunto de áreas territoriales que son explotadas para dar servicio a los sistemas urbanos y que no son agrícolas ni forestales: canteras, embalses, áreas intersticiales en los nudos viarios, suelo yermo o, mejor, abandonado, a la espera de ser urbanizado, etc.
Superficie urbanizable (S_4)	–	ha	Local	Sistema urbano y sistemas de soporte	La superficie urbanizable es aquella reservada para usos urbanos.
Dado edificado D_e y Dado urbanizado	$D_e=\sum_{i=1}^{n} S_{ei}.h/S_e$	m	Local	Sistema urbano	La representación del dado edificado nos da la altura media, es decir, la relación entre el volumen edificado y el suelo que ocupa. El dado urbanizado se calcula del mismo modo sustituyendo la suma de superficies edificadas por la superficie urbanizada S_t.
Saturación urbana S_{SU}	$S_{SU}=\frac{S^2_{urbana}+S^2_{urbanizable}}{S^2_{total}}.100$	%	Local	Sistema urbano	Muestra la proporción de suelo urbano actual previsto en el planteamiento vigente sobre el total de suelo municipal. Es conveniente aplicar este índice en relación al suelo municipal con pendiente menor al 10% (suelo llano).
Consumo potencial de suelo urano (S_{ui})	$S_{ui}=\frac{S^2_{urbana}}{S^2_{urbana}+S^2_{urbanizable}}.100$	%	Local	Sistema urbano	Muestra la cantidad de suelo que ha llegado a suelo urbano sobre el total previsto en el planteamiento vigente.

En la figura (5) se representa el significado de los indicadores arriba propuestos.

Figura 5



EL METABOLISMO URBANO

Energía: modelos e indicadores

Energías renovables: estrategia de la biosfera para su sostenibilidad

Por el hecho de que los organismos en general, y el hombre en particular, necesitan degradar energía y utilizar materiales para mantener la vida y la de los sistemas que los soportan, el único modo de evitar que esto nos conduzca a un deterioro entrópico de la tierra y nos proyecte a equilibrios distintos a los actuales, con la incertidumbre que ello supone de cara al futuro, pasa por ir articulando esta degradación energética y la transformación de los materiales sobre el único flujo energético de energía renovable que se recibe, el procedente del sol y sus derivados, manteniendo un reciclaje completo de los ciclos materiales, tal como se encarga de demostrar continuamente el funcionamiento de la biosfera.

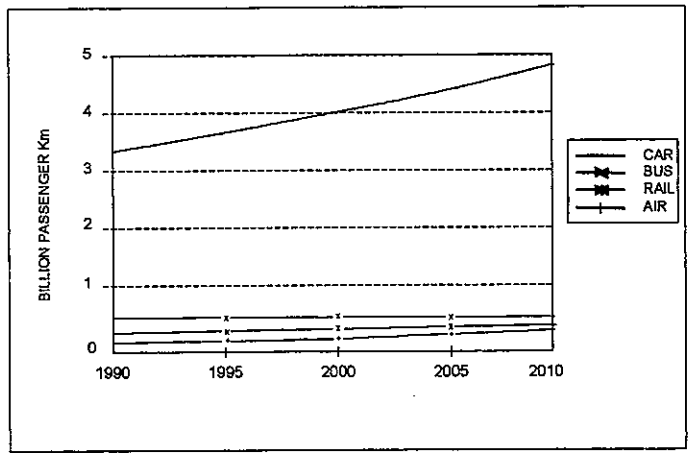
Las exigencias de alta energía concentrada por parte del hombre y sus máquinas contrastan con el amplio y diluido campo de la energía luminosa procedente del Sol. La explosión industrial y demográfica es fruto de la aceleración de la tasa de consumo de combustibles fósiles. Tal como pusieran de manifiesto los estudios de Howard y Elisabeth Odum (1980), las área urbanas tienen una gran concentración de energía por unidad de superficie comparativamente a un campo de cultivo o a un ecosistema natural. El problema es que las magnitudes correspondientes de estos nuevos flujos de potencia empiezan a tener suficiente envergadura para alterar los contrapesos y equilibrios del sistema en cualquier lugar donde se encuentren.

El consumo de energía en los sistemas urbanos

La energía es consustancial al funcionamiento de los sistemas. En el caso de los sistemas urbanos el consumo de ésta depende de los modelos de movilidad, de las tipologías edificatorias, de la eficiencia de las tecnologías y del modelo de ciudad del cual dependen, a su vez, y de las modalidades de los servicios urbanos: agua, residuos, redes, etc.

Hoy, en la mayoría de ciudades del mundo occidental, la movilidad es la actividad, del conjunto de actividades de la ciudad, que mayor consumo de energía arroja. Ello es así porque el transporte en la ciudad tiene en el vehículo privado el artefacto que asume, cada día más, un número de viajes mayor. A medida que la urbanización difusa se expande por el territorio, el vehículo privado es el único medio de transporte que puede alimentarla y darle servicio. Son ya muchas las ciudades donde el porcentaje de viajes en vehículo privado llega a cifras cercanas al 80%. El resto de modos de transporte tiene cada vez menos sentido, en la medida que aumenta la separación entre los usos y funciones urbanas.

Figura 6. Modos de transporte y su proyección futura (EU 15 medias)



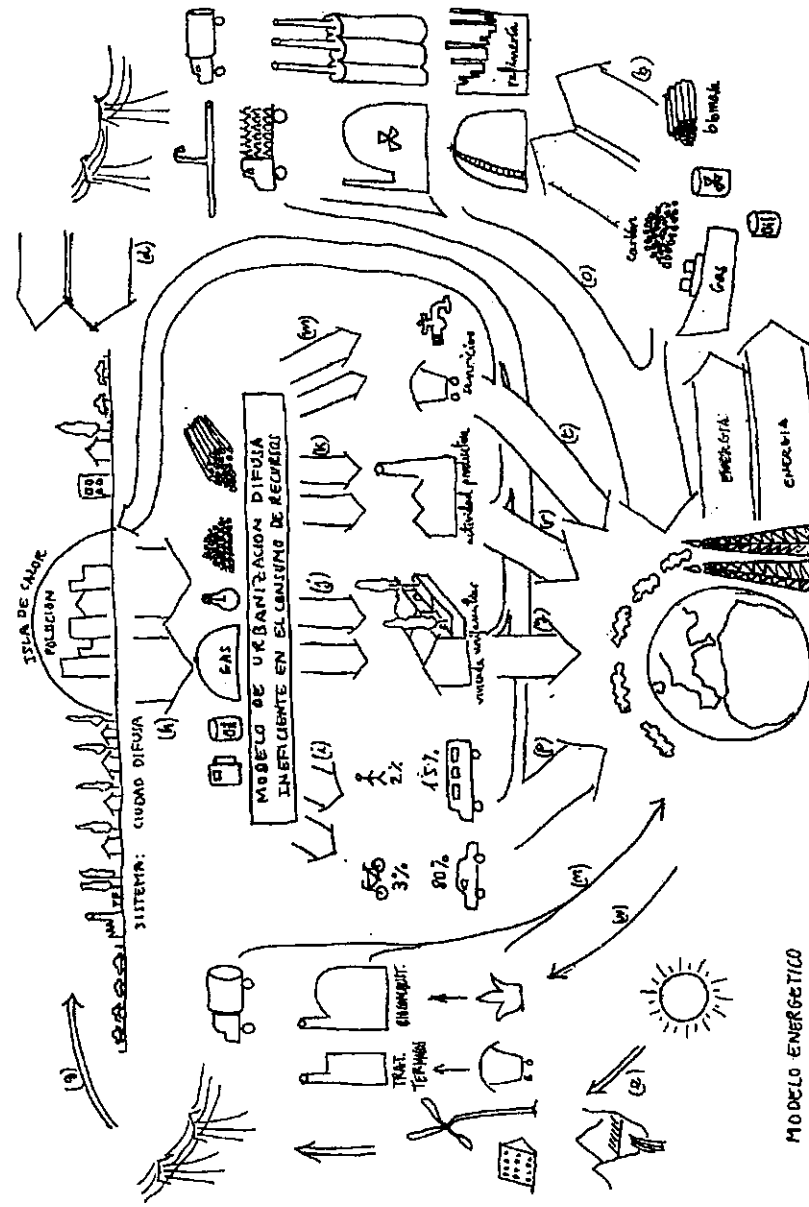
Fuente: EEA Sheets on Societal Trends.

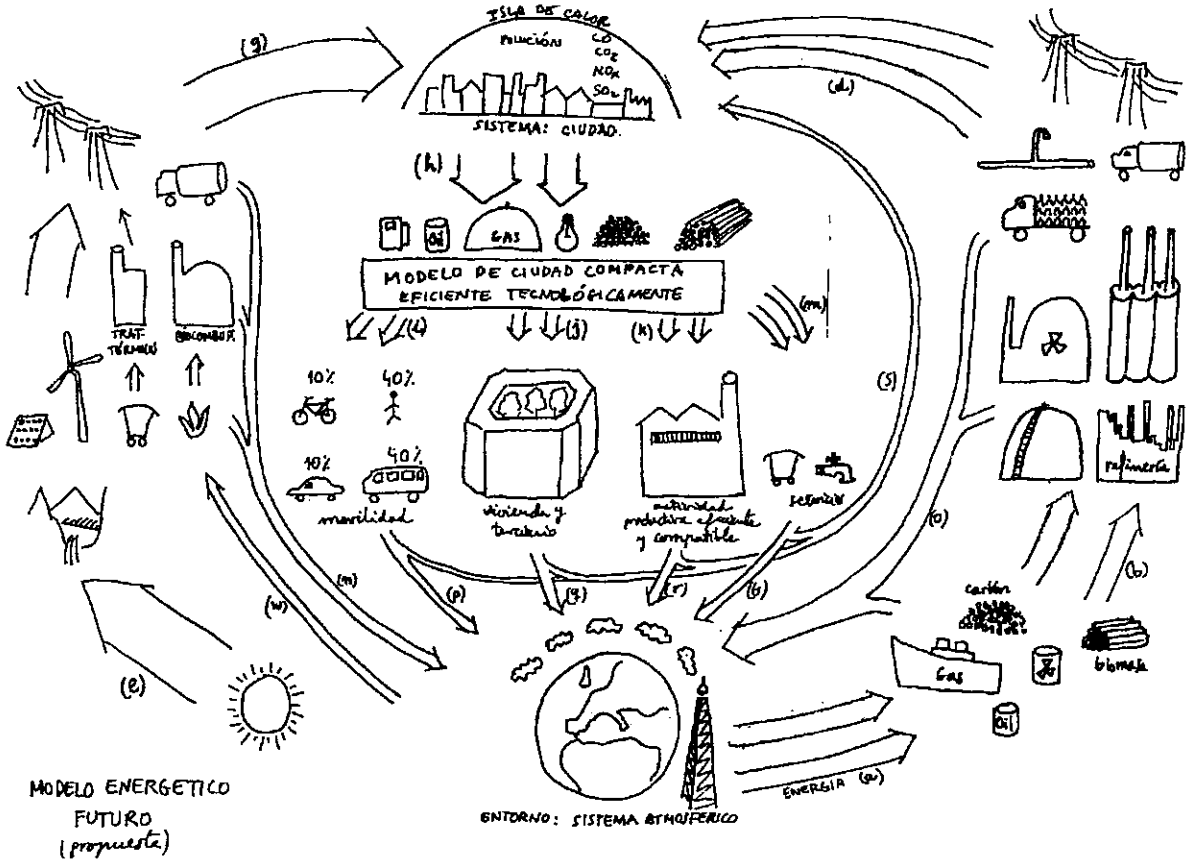
Cuadro 6

La potencia energética de un ser humano es cercana a los 150 w, y la potencia energética media instalada en un vehículo es de 73 Kw, es decir más de 600 veces la potencia energética de una persona. Cuando el funcionamiento de los sistemas urbanos se sustenta en el uso masivo del vehículo privado para realizar las funciones de la vida cotidiana, el consumo de energía se multiplica de manera explosiva, en proporción al número de viajes realizados, la distancia y la velocidad.

La única posibilidad de reducir la energía consumida por el transporte se da en una organizacióin urbana que haga próximas las actividades, los usos y las funciones de la ciudad. La ciudad compacta es un modelo que se ajusta a esta premisa.

Figura 7. Modelos energéticos: tendencia actual y propuesta futura




ISLA DE CALOR
POLUCIÓN
CO
CO2
NOx
SOx
SISTEMA: CIUDAD
(g)
(d)
(h)
GAS
MODELO DE CIUDAD COMPACTA
EFICIENTE TECNOLÓGICAMENTE
(4)
(3)
(k)
(m)
(s)
10%
40%
10%
40%
movilidad
vivienda y
terciario
actividad
productiva eficiente
y compatible
(o)
(b)
carbón
gas
biomasa
refinería
(e)
(w)
(m)
(p)
(r)
(q)
MODELO ENERGETICO
FUTURO
(propuesta)
ENTORNO: SISTEMA ATMOSFERICO
ENERGIA (w)

Cuadro 7: Indicadores de sostenibilidad con relación a la energía

Enunciado	Formulación	Unidades	Correspondencia con los flujos del modelo	Escala del indicador	Incidencia en el modelo	Descripción
Consumo de energía primaria E_t	–	Kw/a Kwh/ha/a Kwh/m²/a	(b) (b)/hab/a (b)/m²/a	Global	Sistemas de soporte	Representa la energía total consumida por el sistema urbano. Desde su generación hasta su consumo final.
Consumo de energía final E_c	–	Kw/a Kwh/ha/a Kwh/m²/a	(h) (h)/ha/a (h)/m²/a	Global	Sistemas de soporte y sistema urbano	Es la energía consumida directamente por el sistema urbano.
Eficiencia energética E_e	$(E_c/E_t).100$	%	(h)/(b)	Global	Sistemas de soporte y sistema urbano	Expresa la energía final consumida en relación a la energía total consumida.
Consumo de energía renovable E_r	–	Kw/a Kwh/ha/a Kwh/m²/a	(d) (d)/ha/a (d)/m²/a	Global	Sistemas de soporte y sistema urbano	Es la energía consumida de carácter renovable, es decir procedente, directa o indirectamente, del sol.
Proporción de consumo de energía de origen renovable local	$(E_r/E_t).100$	%	[(g)/(b)].100	Global	Sistemas de soporte y sistema urbano	Es uno de los indicadores que informa de la presión sobre los sistemas de soporte y su reducción
Generación de residuos nucleares	–	u/a		Global	Sistemas de soporte	Expresa la cantidad de residuos de distinta actividad radiactiva generados en un año

La gestión del agua: modelos e indicadores de sostenibilidad

¿Atender la oferta o regular la demanda?

Hasta el momento, la gestión del agua ha consistido en garantizar la oferta de este recurso, asegurando la calidad para los usos previstos, sin tener en cuenta la demanda (aplicando un modelo de gestión distinto con nuevos criterios) ni la preservación de los ecosistemas naturales.

Un modelo de gestión del agua con tintes de sostenibilidad debe preservar el entorno manteniendo una determinada complejidad del mismo, a la vez que tiene que proveer agua al sistema urbano para el mantenimiento de su organización. Ello es posible si el modelo se desarrolla con la intención (para aumentar la capacidad de anticipación) de disminuir la presión sobre los ecosistemas que también son demandantes de agua, a través de reducir la extracción de recursos y de disminuir la presión sobre los ecosistemas que también son demandantes de agua, a través de reducir la extracción de recursos y de disminuir la carga contaminante vertida en la cuenca.

Las oportunidades de reducción se centran: a) en un incremento de la extracción de recursos locales sin sobrepasar la explotación que lo preserve de otros impactos indeseables; b) en el ahorro significativo de agua; c) en la

reutilización del agua depurada; y d) en el aprovechamiento del agua de lluvia.

El segundo aspecto básico del modelo es la reducción del impacto contaminante producido por el vertido de agentes físicos, químicos y biológicos en el medio acuático.

La apropiación humana de los recursos hídricos

La apropiación de un determinado porcentaje de agua de la cuenca debería establecerse teniendo en cuenta las necesidades del resto de los ecosistemas que, como el hombre, necesitan del agua para mantener su organización.

La proporción de los tres tercios podría establecerse como una primera propuesta a expensas de ser corroborada o no de manera particular para cada cuenca. Un tercio de agua sería apropiada por el hombre para su consumo, un segundo tercio tendría los ecosistemas terrestres como destino y un tercer tercio debería ser disponible por los sistemas acuáticos que necesitan, como hemos dicho de un caudal mínimo para su persistencia. El mar debería recibir, al menos, un tercio del agua caída en la cuenca, por las razones antes indicadas.

Cualquier modelo de gestión del agua debe tener en cuenta el mantenimiento de los ecosistemas en la cuenca hidrográfica y también los que por gravedad se conectan con ellos en el frente marino.

El modelo de ordenación del territorio y el consumo de agua

El modelo de ciudad difusa tiene graves consecuencias para el ciclo del agua hidrográfica puesto que:

- Impermeabiliza una parte significativa de la cuenca, lo que unido a la canalización de los cauces, hace que aumente la velocidad del agua de lluvia caída en cualquier parte de la cuenca hasta el mar.
- La impermeabilización en las áreas llanas de la cuenca reducen las áreas de infiltración del agua.
- Las infraestructuras urbanas, en especial la red de carreteras y vías segregadas son causantes también de distorsiones en el movimiento por gravedad del agua hacia el mar, provocando desvíos de los flujos de agua, que unidos al aumento de velocidad citado, produce inundaciones cuando el agua caída se produce de forma torrencial.
- La construcción masiva de viviendas unifamiliares en urbanizaciones dispersas en el territorio, con piscina y jardín supone un consumo de agua significativamente mayor que las tipologías de vivienda de la ciudad compacta.

Las medidas de ahorro del agua

La tecnología actual tanto en el ámbito doméstico, como en los sectores industriales y de servicios, permite reducciones significativas en el actual consumo de agua. En todos los casos se puede reducir, al menos, un 30% del consumo actual de agua. El ahorro puede empezar evitando las actuales pérdidas de las redes de suministro, y continuar con la desmaterialización de los servicios que se prestan mediante el agua: limpieza, riego, transporte de residuos, etc.

El aprovechamiento del agua reutilizada, de lluvia y de acuífero: redes separativas y depósitos de laminación

- El uso de agua de procedencia local o de agua depurada puede suministrarse en redes separativas para usos públicos o industriales que no requieran agua potabilizada. El agua para riego y espacios públicos supone en muchos casos el 50% más del total de agua consumida en la ciudad.
- El agua puede ser almacenada en depósitos que pueden tener funciones de suministro a las redes separativas de retención y laminación para evitar inundaciones, y funciones para evitar las descargas al medio de aguas pluviales y residuales por saturación de la red de alcantarillado.
- El agua depurada puede reutilizarse para usos industriales, agrícolas y ganaderos en áreas periféricas de la ciudad, así como el mantenimiento de las zonas húmedas.

La depuración del agua

En Europa el año 2005 es la fecha a partir de la cual no pueden verterse residuos líquidos urbanos sin depuración previa (la directiva europea lo impone para los núcleos con población superior a los 2.000 h-e).

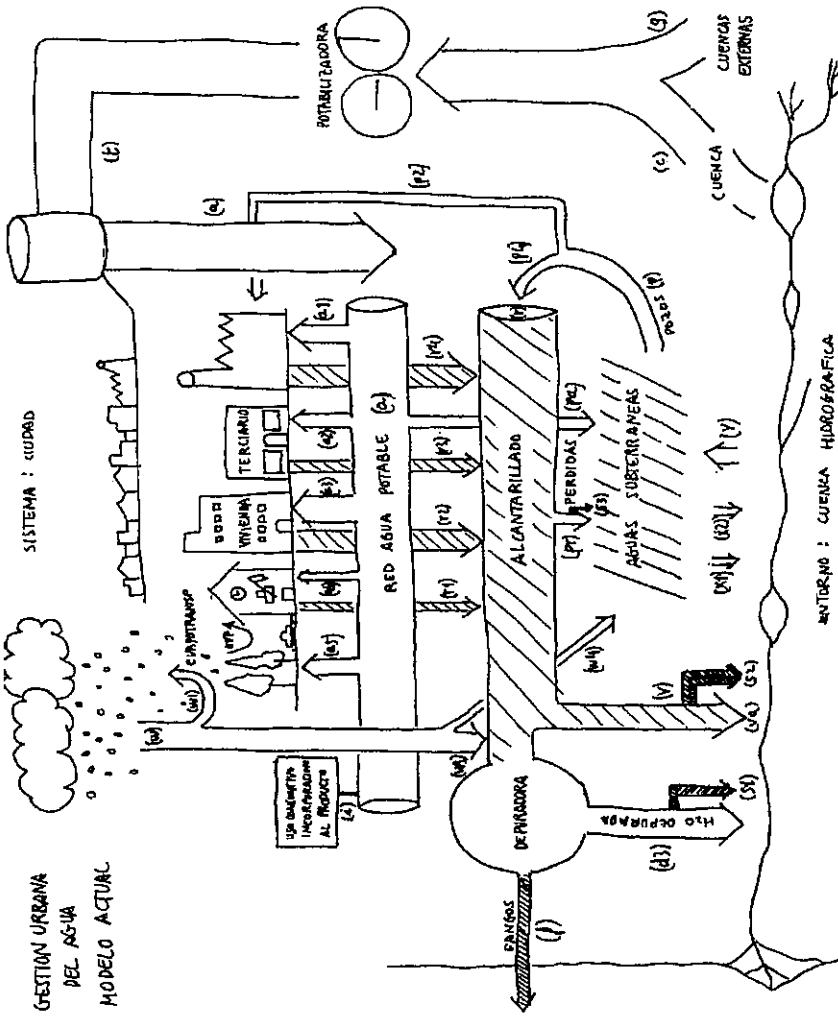
En algunos ríos, en especial algunos de la cuenca mediterránea, con poco caudal, será necesario, realizar tratamientos terciarios, ya que la dilución de los vertidos depurados es insuficiente para preservar los ecosistemas acuáticos.

Cuadro 8. Indicadores de sostenibilidad con relación al agua

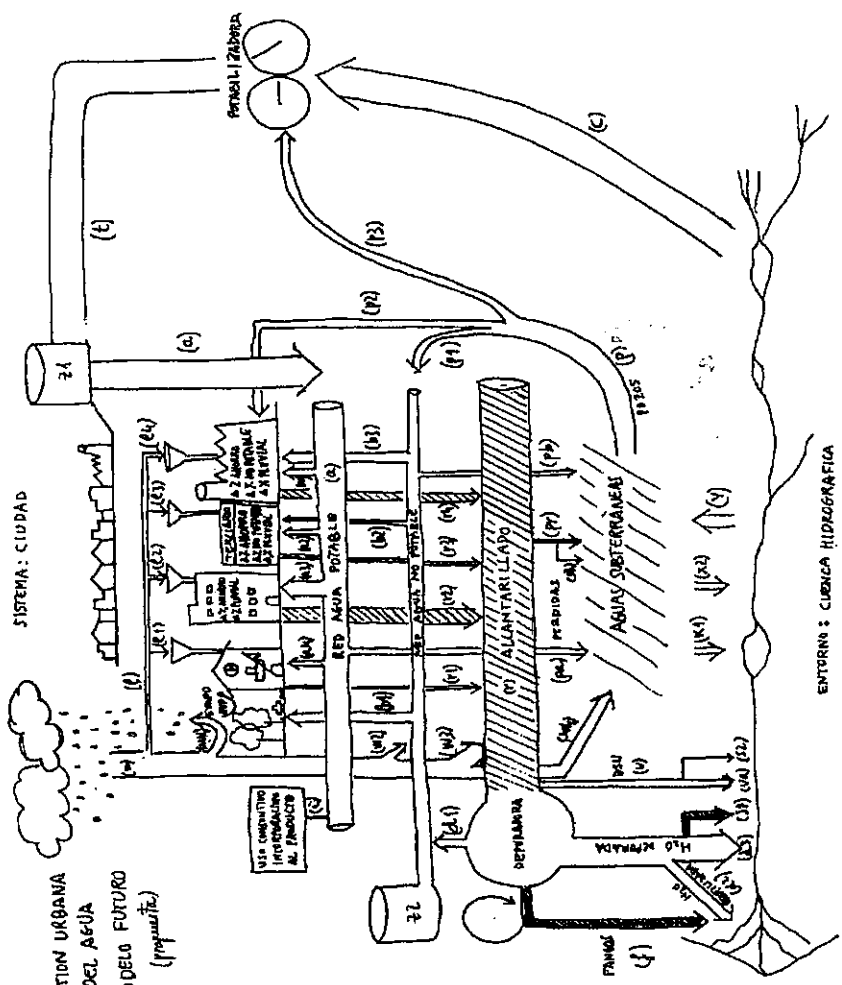
Enunciado	Unidades	Correspondencia con los flujos del modelo	Escala del indicador	Incidencias en el modelo	Descripción
Porcentaje de apropiación del agua de la cuenca	%		Cuenca	Sistemas de soporte	Es un indicador de apropiación humana del agua. La apropiación de un determinado porcentaje (se propone no sobrepasar 1/3 del total) debería hacerse teniendo en cuenta las necesidades del resto de ecosistemas.
Área de cuenca necesaria para el abastecimiento	km^2		Cuenca	Sistemas de soporte	Es la superficie de cuenca necesaria para abastecer de agua potable al sistema urbano. El cálculo se realiza para un año normal y un año seco. Consiste en saber el caudal específico (l/seg.-Km^2) que transcurre como agua superficial y que ser deriva para abastecimiento urbano.
Superficie impermeabilizada	ha		Cuenca	Sistemas de soporte	Cantidad de superficie por edificaciones, infraestructuras y superficies impermeables en el territorio. El cálculo debe hacerse, también, en relación al suelo correspondiente < 10%.
Aportación de agua para el consumo (A)	hm^3/a $m^3/hab/a$	$A=(a)+(w_2)+(d_1)+(d_2)+(p_1)+(p_2)=(1)$	Cuenca	Sistemas de soporte	Es la suma de los flujos que entran en el sistema urbano para su consumo.
Uso de agua local (A_1)	hm^3/a $m^3/hab/a$	$[(p)+(d_1)+(d_2)+(w_2)+(1)/A-w_2+w].100$	Cuenca	Sistemas de soporte	Indica el porcentaje de agua que evitamos extraer de los sistemas de soporte. Da idea de la autosuficiencia del sistema en relación a este recurso.
Vertidos el medio (V)	tn/a tn/hab/a	$V=(s_1)+(s_2)+(s_3)$; $V=(s_1)+(s_2)+(s_3)+(f)$ si no se reutilizan los fangos	Cuenca	Sistemas de soporte	Consiste en saber la cantidad de contaminación en peso que se vierte al sistema hídrico.

Figura 8. Modelos de gestión de aguas

Modelo actual



Modelo futuro (propuesta)



Modelos e indicadores para una gestión de residuos más sostenible

En los esquemas adjuntos se dibujan dos escenarios que respresentan los flujos materiales que van desde los sistemas de soporte representados aquí con un globo terráqueo, –de hecho los materiales que llegan a la ciudad ahora proceden de cualquier parte del mundo– hasta el sistema urbano. Las materias primas sacadas de los sistemas de soporte son canalizadas hacia la red de transformación industrial, que los convierte en bienes de consumo, que serán consumidos en la ciudad.

Por otro lado, el tratamiento y disposición de los materiales abandonados (residuos) canalizan el retorno de los materiales consumidos hacia los sistemas de soporte en forma de impacto contaminante o bien como recursos recuperados, que serán depositados en el suelo en forma de compost o entrarán en la red industrial como materias secundarias.

En el centro del esquema se representa el modelo de gestión de residuos municipales. Los flujos materiales en el conjunto del escenario se modificarán, en función del modelo de gestión escogido. Un modelo de gestión de residuos en el marco de la sostenibilidad ha de procurar reducir la explotación de materiales, es decir reducir la cantidad de materias primeras extraídas de los sistemas de soporte y también reducir la presión por impacto contaminante sobre los sistemas de la Tierra.

El primer esquema representa el modelo de gestión de residuos municipales actual, poniendo como ejemplo el Área Metropolitana de Barcelona. La ciudad para mantenerse organizada necesita consumir materiales y energía proviniente de los sistemas de soporte (entorno) que serán explotados para extraer los recursos naturales –materias primas– (flujo (a)), que serán transportados a la red industrial de transformación (b) que a su vez los convertirá en bienes de consumo (c), que serán consumidos en la ciudad (e). Parte de estos materiales consumidos pueden ser reutilizados (f) (por ejemplo los envases retornables, muebles, ropa, etc.). La reutilización actual es prácticamente testimonial, en relación al volumen de residuos generados. En la actualidad, los materiales consumidos (e) se destinan al abandono en su mayor parte –el 96% de los materiales que son residuos– recogiendo selectivamente sólo un 4%, que se consideran recursos potenciales (i). Los materiales seleccionados ya sean orgánicos o inorgánicos, pasan por actividades de valorización, que los tratan para inyectarlos como materiales inorgánicos recuperados en la red industrial (j), o para enriquecer el suelo, cuando son materiales orgánicos estabilizados (k). Los impropios recogidos selectivamente serán separados y considerados como residuos para eliminar (h).

Los flujos destinados al abandono (m) se convierten en residuos, que serán depositados en el vertedero (la mayor parte) (q) o en las incineradoras (n), cuando se trata de residuos ordinarios, o también serán llevados a plantas de tratamiento, cuando los materiales sean o contengan residuos especiales (pilas, fluorescentes, neveras, etc.) (r).

La gestión actual de determinadas instalaciones de disposición hace que su impacto contaminante sea significativa, tal y como se refleja en los flujos (o) (s) y (l) aunque están en vías de una reducción significativa, tanto para las incineradoras que refuerzan su sistema de depuración, como el vertedero que tratará sus lixiviados in situ y aprovechará parte del biogás que hoy se emite a la atmósfera.

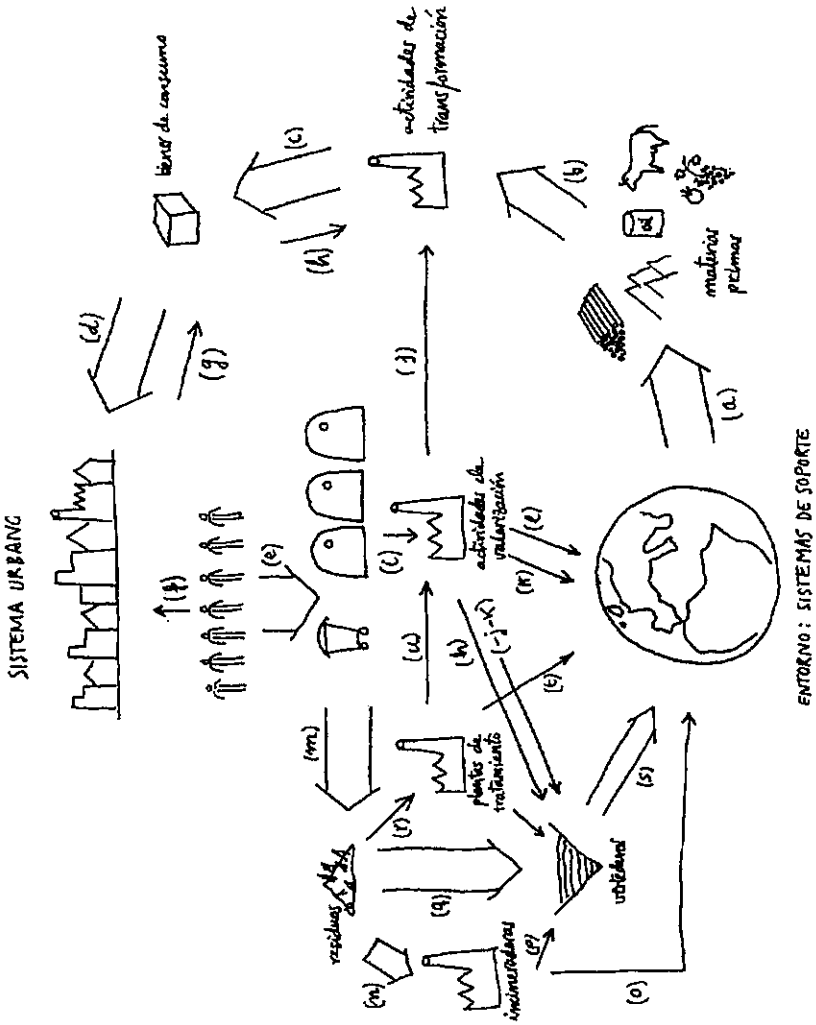
El segundo escenario representa la unidad sistema-entorno con un modelo de gestión de residuos pensado para reducir la presión tanto por explotación como por impacto contaminante sobre los sistemas de soporte.

La red de flujos tiene el mismo significado que en el esquema anterior (modelo actual de gestión de residuos). Lo que se propone en el modelo de gestión de residuos futuro es: 1. Aumentar los flujos de reutilización de materiales (f), (g) y (h); 2. Aumentar el flujo de residuos orgánicos e inorgánicos recogidos selectivamente (i) y recuperados para ser inyectados en la industria (j) y depositados en el suelo en forma de compost (k).

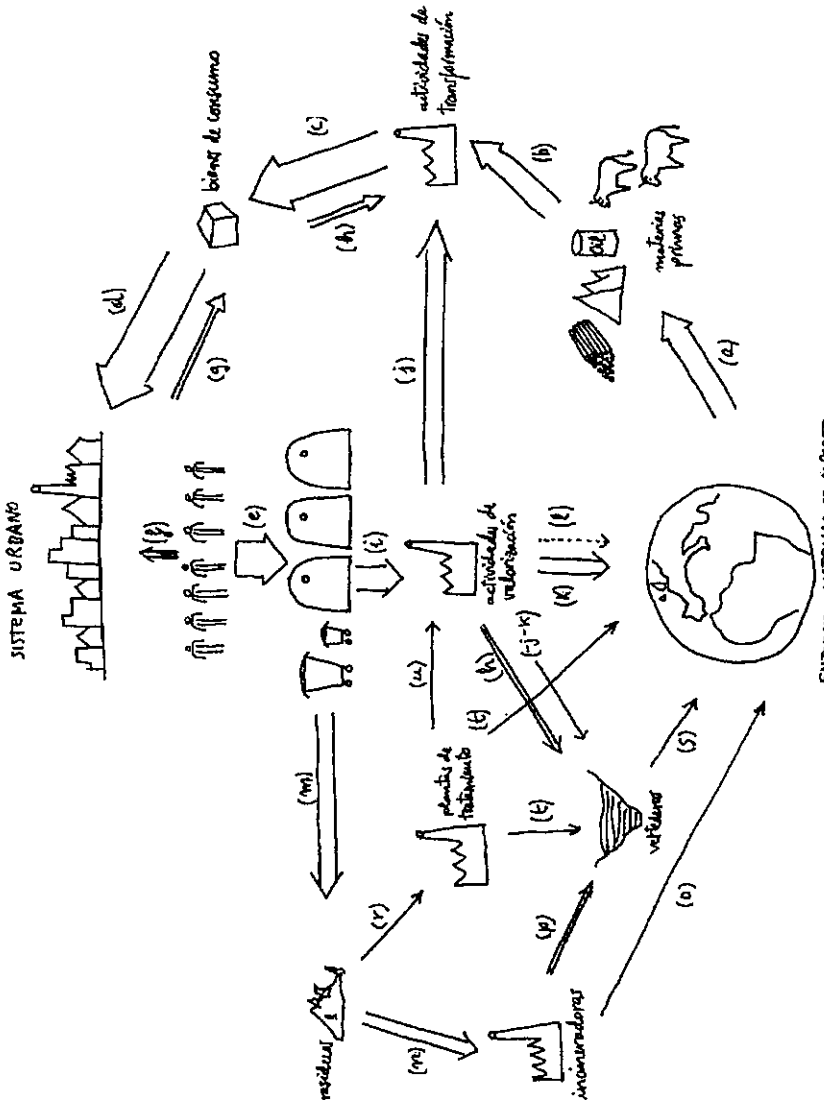
Una mayor reutilización y recuperación de materiales permite reducir el nivel de presión por explotación de los sistemas de soporte, es decir, la entrada a la industria de una cantidad mayor de materiales inorgánicos recuperados (j) hace que la cantidad de materias primeras (a y b) a extraer de los sistemas de soporte puede ser menor. A la vez una mayor aportación de compost al suelo supone una mayor biofertilidad de los suelos y también una reducción de abonos inorgánicos.

El escenario futuro propone también: 3. Reducir la cantidad de materiales destinado a su abandono (n) y 4. Reducir las emisiones y vertidos en las instalaciones de disposición. Para ello están aumentando los niveles de exigencias de los sistemas de depuración de las incineradoras, y ha de reducirse la cantidad de materiales de aportación directa al vertedero; en el escenario futuro no ha de llegar ningún flujo residual que no haya pasado previamente por una instalación de tratamiento o valorización, es decir, solamente pueden llegar rechazos. Por último, ha de aprovecharse el biogás del vertedero cuya emisión hoy es, para el Área Metropolitana de Barcelona, uno de los factores que más contribuyen al efecto invernadero.

Figura 9. Modelos de residuos urbanos
Modelo actual de residuos



Modelo futuro de residuos (propuesta)



Cuadro 9. Indicadores de sostenibilidad con relación a los residuos

Enunciado	Formulación	Unidades	Correspondencia con los flujos del modelo	Escala del indicador	Incidencia en el modelo	Descripción
Generación de residuos	–	tn/a tn/hab/a	(e)	Global	Sistemas de soporte	Es el resultado del consumo de materiales en el sistema urbano. Su evolución indica el nivel de minimización o aumento en el consumo de recursos.
Proporción de materiales reutilizados y reciclados	fórmula[1]	%	fórmula[2]	Global	Sistemas de soporte	Este indicador expresa la cantidad de materiales que se convierten de nuevo en recursos, respecto al total de residuos generados.
Balance energético de la gestión de residuos	fórmula[3]	Gjth Gjth/ha	–	Global	Sistemas de soporte	Establece el grado de recuperación energética del modelo de gestión de residuos.
Emisiones de gases de efecto invernadero	fórmula con las proporciones IPCC	ton/a	–	Global	Sistemas de soporte	Aunque se propone un cálculo global en otro apartado, se propone calcular las emisiones de CO_2 generadas con el modelo de gestión de residuos.

Modelos de gestión urbanos y sus emisiones a la atmósfera

La contaminación perturba el adecuado retorno del transporte horizontal de materia y energía (cortocircuita el ciclo de los materiales traídos hasta la ciudad), siendo la contaminación, en buena medida, una consecuencia del transporte.

Emisiones a la atmósfera: causas

Las emisiones atmosféricas y el modelo energético

El hombre crea sistemas de control y amplificación de las vías de energía externas cada vez más poderosos. La emisión de contaminantes a la atmósfera es fruto, en buena parte, del uso masivo de energía exosomática de origen mineral y también de la transformación de mayores cantidades de materiales.

Un mayor o menor volumen de contaminantes emitidos a la atmósfera dependerá, en primera instancia, del modelo de gestión de energía. Sabemos que las energías renovables de origen solar (biomasa, fotovoltaica, fototérmica, etc.) suponen una generación entrópica mínima y por tanto emisiones reducidas (las correspondientes al instrumental y los mecanismos de gestión y captación). Apoyar la organización urbana en energías renovables es básico para disminuir el impacto sobre la atmósfera.

---

[1] (Residuos reutilizados + residuos reciclados)·100/generación de residuos.
[2] [f+j+u-(j-k)/e]·100.
[3] Consumo energético - (recuperación de energía + ahorro por reciclaje).

Modelos de ciudad y contaminación atmosférica

El modelo de implantación urbana en el territorio puede ser responsable de buena parte de las emisiones generadas, ya que de él dependen el modelo de movilidad –el transporte es el factor que mayor contaminación genera en la mayoría de sistemas urbanos–, las tipologías edificatorias y los tipos de actividad industrial compatible o no con otros urbanos (se supone que actividades compatibles con otros usos, por ejemplo los residenciales, son poco contaminantes). El modelo de ciudad compacta puede, en principio, reducir sustancialmente las emisiones respecto a los modelos urbanos dispersos y desparramados sobre el territorio.

Cuadro 10

La totalidad de las flotas de limpieza y recogida de basuras del área metropolitana de Barcelona, y la totalidad de la flota de autobuses metropolitanos, cerca de 900 autobuses, que en conjunto consumen 21 millones de litros de gas-oil, podría funcionar con biogás del vertedero de basuras de Garraf, que hoy emite a la atmósfera con el consiguiente impacto sobre ésta.

Las emisiones de las actividades industriales

Los procesos industriales son generadores de contaminación atmosférica, que proviene del consumo de energía y de la transformación de los flujos materiales. El diseño de los productos y bienes de consumo, así como el diseño de los propios procesos productivos y la eficiencia tecnológica de los mismos, serán los responsables de una mayor o menor emisión de contaminantes.

Las emisiones generadas por los servicios

Los servicios urbanos de recogida y tratamiento de los residuos, los servicios de aporte de combustibles energéticos; por ejemplo el gas, etc., son causa de emisiones en función de los modelos de gestión que se apliquen.

Muchas ciudades disponen sus residuos en vertederos sin absorber el biogás generado en él. Las emisiones de metano y otros componentes pueden ser dependendiendo de las características del vertedero, importantes. Lo mismo puede suceder con las pérdidas en la red urbana de gas natural.

Emisiones a la atmósfera: consecuencias

Incidencia de las emisiones antropogénicas en el sistema atmosférico

La oxidación acelerada de los compuestos reducidos de carbono, nitrógeno y azufre que se habían acumulado en la necrosfera a lo largo de los tiempos geológicos, junto con la emisión de CFCs y otros gases y partículas, son

los responsables antropogénicos de un probable cambio climático, de un aumento del agujero de ozono, de la reducción de compuestos oxidantes en la atmósfera y de un aumento de las lluvias ácidas en algunas regiones de la Tierra.

La disminución de la capa de ozono estratosférico, la reducción de la capacidad de oxidación atmosférica y el aumento de la temperatura del aire, son los tres fenómenos que hoy se presentan como más problemáticos, con capacidad para modificar la composición de la atmósfera global y de alterar en consecuencia, el papel fundamental de la atmósfera en el equilibrio del sistema ecológico mundial.

Incidencia de las emisiones en la atmósfera urbana

La atmósfera urbana se comporta como un reactor químico extremadamente complejo del cual forman parte una serie de compuestos químicos y físicos que se interrelacionan de manera diversa, en función de los ritmos diarios y estacionales (radiación luminosa, temperatura, humedad, etc.), de las características geográficas del enclavamiento de la ciudad, de las características estructurales del sistema urbano, de las actividades emisoras de contaminantes y sus ritmos temporales de emisión, etc. La reacción de algunos componentes extraños a la composición normal de la atmósfera (contaminantes primarios), con algunos parámetros físicos como, por ejemplo, la radiación solar, dan lugar a nuevos contaminantes, denominados secundarios, como el ozono troposférico, ya que se encuentra como componente de la niebla fotoquímica o smog, los aerosoles ácidos y los hidrocarburos carcinogénicos, varias veces más nocivos que sus precursores directamente emitidos en la atmósfera.

Las características de emisión, geográficas, etc. determinarán la calidad de la atmósfera urbana. Los indicadores que se suelen emplear están íntimamente relacionados con los niveles previamente legislados. Éstos atienden a los efectos potenciales que determinadas emisiones tienen para la salud de las personas y para los ecosistemas. Para situaciones episódicas de alta contaminación atmosférica, el percentil 98 de las concentraciones de determinados contaminantes, suele ser un buen indicador de éstas.

Cuadro 11. Indicadores de sostenibilidad con relación a la contaminación atmosférica

Enunciado	Unidades	Correspondencia con los flujos del modelo	Escala del indicador	Incidencias en el modelo	Descripción
Emisiones de CO_2	-	t/a kg/hab/a kg/Km^2	Global	Sistemas de soporte	Estimulación de las emisiones de CO_2 de todas las fuentes primarias y finales generadoras de este gas
Emisiones de CH_4	-	t/a kg/hab/a kg/Km^2	Global	Sistemas de soporte	Suma las emisiones de CH_4 generadas por el conjunto de fuentes primarias y finales.
Emisiones de gases con efecto invernadero	propuesta IPCC	t/a CO_2 equivalente	Global	Sistemas de soporte	Se suman las concentraciones de CO_2, CH_4, N_2O y CFC's ponderándolas en función de su capacidad de absorción térmica. La dificultad para estimar las cantidades de los dos últimos contaminantes, aconseja realizar los cálculos con las emisiones de metano y dióxido de carbono

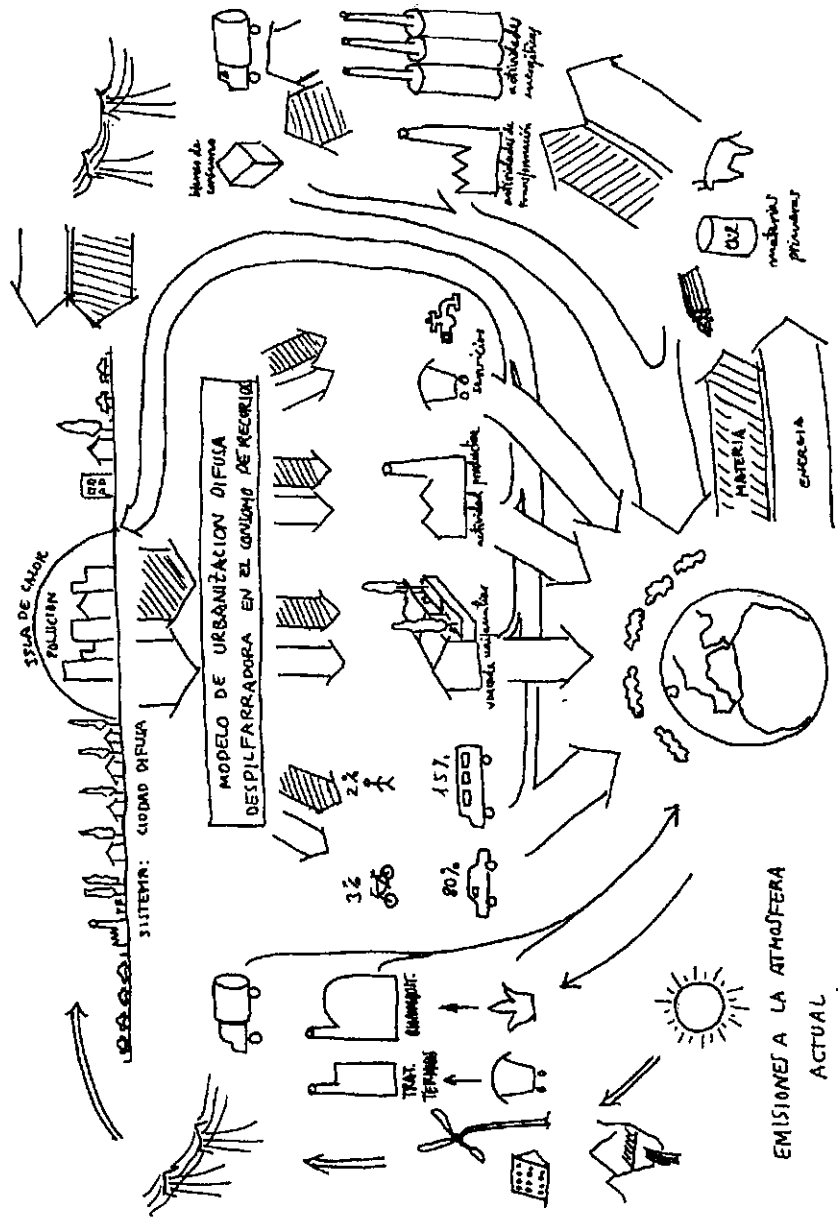
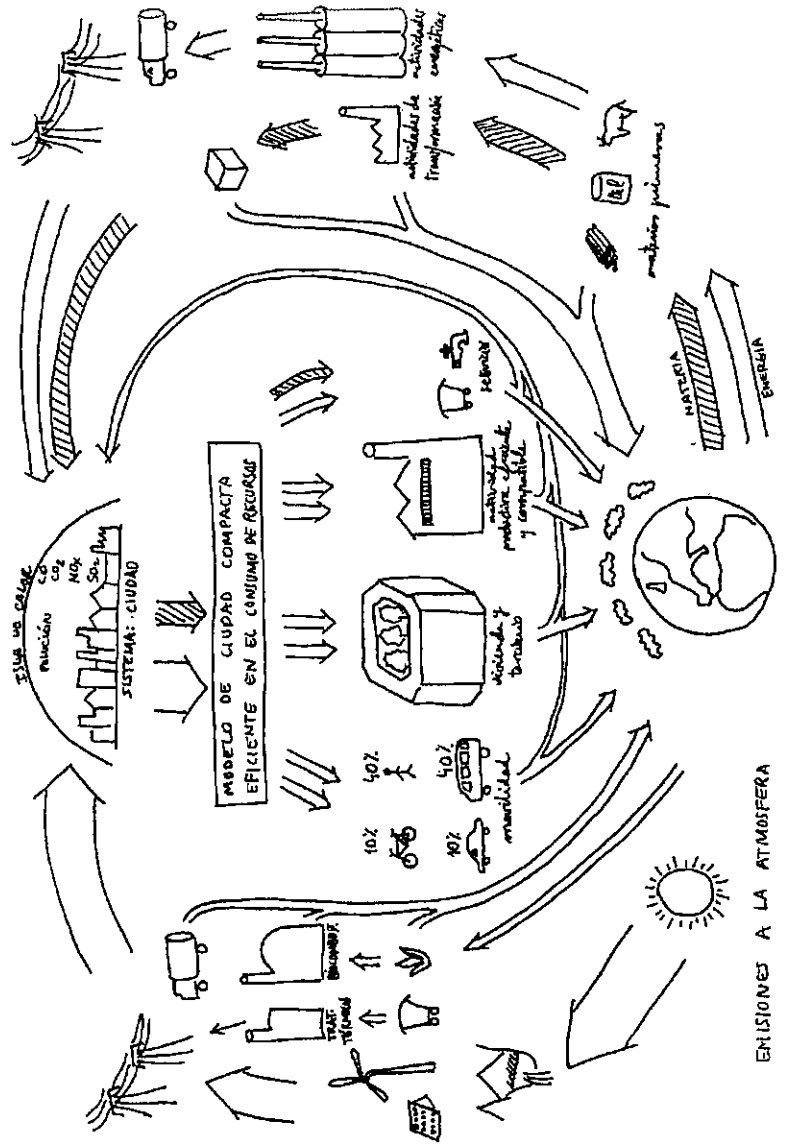


Figura 10. Modelos actual y futuro (propuesta) de emisiones a la atmósfera


MODELO DE CIUDAD COMPACTA
EFICIENTE EN EL CONSUMO DE RECURSOS
SISTEMA: CIUDAD
40%
40%
10%
10%
vivienda y trabajo
actividades productivas limpias y competitivas
actividades de transformación
actividades competitivas
materias primas
MATERIA
ENERGIA
EMISIONES A LA ATMOSFERA
FUTURO
(propuesta)
ENTORNO: SISTEMA ATMOSFERICO

Apropiación humana de los recursos naturales: Capacidad de carga e indicadores afines

La capacidad de carga

La capacidad de carga se define en ecología como la población máxima de una especie que puede mantenerse sustentablemente en un territorio sin deteriorar su base de recursos. Este concepto hace referencia al grado de explotación y presión entrópica a que podemos someter a los ecosistemas que soportan nuestra vida y nuestras organizaciones, manteniendo una razonable conservación de dichos sistemas de soporte. El grado de explotación y presión entrópica está en función, básicamente, de la población que dicho territorio ha de mantener y la tasa de consumo de recursos per cápita. Debido a la expansión del comercio y la tecnología, puede parecer que la capacidad de carga de un territorio no es demasiado relevante, puesto que se pueden importar recursos localmente escasos, exportando residuos o ir eliminando determinadas especies para aumentar nuestra capacidad de producción. Esto sería cierto si los recursos planetarios fueran ilimitados, pero esto no es así. Hoy el grado de explotación al que sometemos al conjunto de ecosistemas de la Tierra es de magnitud suficiente para afirmar que su capacidad de carga está comprometida en su conjunto. La disponibilidad «ecológica» de la tierra en el Planeta ha disminuido durante este siglo.

La idea de capacidad de carga tiene, no obstante, una serie de dificultades para su uso en el caso de los humanos (Martínez Alier, J.), sobre todo cuando se refiere a la capacidad de carga para poblaciones y territorios concretos.

La tecnología puede reducir directamente la capacidad de carga incrementando el flujo de energía y materiales a corto plazo a través de los ecosistemas explotados. Esto parece mejorar la productividad de los sistemas mientras, realmente, lo que hace es erosionar la base de los recursos (Rees 1996).

El comercio puede liberar a una población local de las limitaciones de su propio territorio; pero solamente desplaza la carga a otro sitio. En efecto, las poblaciones locales incorporan «excedentes» de la capacidad de carga de otras. El comercio puede llevar a una disminución de la capacidad de carga global, pues al acceder a importaciones baratas (por ejemplo comida), no hace falta ya conservar el propio capital natural local (por ejemplo la tierra de cultivo) y además se acelera el agotamiento del capital natural en regiones exploradoras distantes (Rees 1996). Lo grave es que el movimiento de mercancías es libre en todo el mundo, pero no así el de personas. El flujo neto de los materiales y energía sin degradar tiene una clara direccionalidad desde el Sur hacia el Norte y de las personas al revés. Las poblaciones del sur tienen restringida la movilidad hacia los países del Norte aunque sean éstos los que se aprovechen de los recursos de los países menos desarrollados.

Los problemas en la dinámica de las poblaciones aparecen unidos a la desigualdad en el uso de la energía y los recursos. En términos ecológicos, la relación entre los índices de aumento de la energía consumida y las tasas de aumento del número de individuos permite indicar la distribución entre poblaciones ricas y pobres, entre ciudades y países del norte y del sur.

Para períodos de tiempo cortos, Margalef propone la siguiente expresión:

$$(NE)_t = (NE)_o \cdot e^{(r+f).t}$$

En que (NE)o representa el producto del número de individuos existentes en un determinado momento por la energía total usada por individuo; (NE)t, el mismo producto una vez transcurrido un tiempo, t y r y f, las tasas de aumento neto del número de individuos y de la energía total usada por individuo, respectivamente.

La huella ecológica

Algunos autores han definido la capacidad de carga como las tasas máximas de utilización de recursos y generación de residuos (la carga máxima) que pueden sostenerse indefinidamente sin deteriorar progresivamente la productividad e integridad de los ecosistemas donde quiera que estén. La capacidad de carga viene a expresar la población que se podría mantener con relación a la superficie explotada. Wackernagel y Reis proponen darle la vuelta a la relación que expresa la capacidad de carga (habitantes/unidad de superficie) por su inversa denominándola «huella ecológica». En lugar de preguntarnos cuánta población puede mantener una región determinada, la cuestión es: ¿Qué superficie de suelo productivo es necesaria para mantener una población determinada, independientemente de donde sea que se encuentre este suelo? (Rees, 1992, Rees y Wackernagel, 1994; Wackernagel y Rees, 1995).

Para el cálculo de la huella ecológica se estima el área de suelo/agua requerida para producir «sosteniblemente» la cantidad de cualquier recurso o servicio ecológico utilizado por una población definida, a un nivel tecnológico determinado. La suma de estos cálculos para todas las categorías de consumo, nos dará una estimación del capital natural requerido por una población, medio para un territorio.

Las ciudades y regiones urbanas dependen hoy para sobrevivir y crecer de un vasto y creciente hinterland global de territorios productivos. Los sistemas urbanos se apropian necesariamente de la producción ecológica y de las funciones de soporte de la vida de regiones distantes de todo el mundo a través del comercio y los ciclos bioquímicos de materia y energía. El área de suelo/agua requerida para mantener los flujos de materiales, energía y sus degradados requeridos por una determinada población es la denominada «huella ecológica» de la población en cuestión. Su cálculo nos permite tener

una medida aproximada de las necesidades de capital natural de cualquier población, en comparación al suministro disponible (Rees 1996).

La apropiación humana de la producción primaria neta (PPN)

La PPN es la cantidad de energía que los productos primarios, las plantas, ponen a disposición del resto de las especies vivientes, los heterótrofos.

Todos los seres vivos dependemos de los excedentes que nos proporcionan los organismos autótrofos. Actualmente nos «apropiamos», directa o indirectamente, del 40% de la producción fotosintética neta, es decir aquella producción «excedente» una vez descontada la necesaria para la vida vegetativa y reproductiva de la planta (Vitousek et al. 1986) y del 25-35% de la producción primaria litoral (Paul y Cristensen 1995). Desde 1989 las capturas de pesca han disminuido en todo el mundo excepto en el Índico.

Podría creerse que la capacidad de carga puede crecer, aumentando la tasa de apropiación de la producción primaria neta, pero ello llevaría a la extinción de muchas especies. Si la población aumenta en exceso o lo hace la tasa de apropiación de la PPN, la situación podría hacerse crítica para el conjunto de organismos vivos y con ellos la nuestra propia, puesto que sin ellos nosotros no podemos sobrevivir.

Este indicador es realmente interesante puesto que incide en la base del sustento del conjunto de organismos del Planeta. Como es lógico, tiene una relación estrecha con la capacidad de carga y con el concepto de huella ecológica; los tres hacen referencia a la idea de apropiación y uso de los recursos naturales.

La mochila ecológica (MIPS)

Es un indicador desarrollado por el Instituto Wuppertal, que añade todos los materiales utilizados directa o indirectamente para cada unidad de servicio («la mochila ecológica»), medidos en toneladas. Compara el insumo material medido en toneladas con los servicios proporcionados sector por sector y, en principio, para toda la economía. Las comparaciones del MIPS permitirán establecer las diferencias espaciales y temporales en el consumo de recursos y en consecuencia podemos saber si se avanza o no en la desmaterialización de la economía o de nuestros modelos de gestión. Como plantea Martínez Alier, J. (1998), se puede objetar que medir toneladas de materiales no informa sobre la toxicidad de éstos.

Otro aspecto en discusión, sobre todo en el ámbito de la economía ecológica, es la idea misma de servicio y el sentido de las necesidades, cuestiones básicas pero que no se desarrollan en este documento.

EROI

Este acrónimo Energy Return on (Energy) Input y fue el primer indicador físico empleado en la economía ecológica en la década de los setenta, principalmente por discípulos directos o indirectos de Howard Odum. De hecho la idea de ver la economía de la sociedad humana y particularmente, de la agricultura como un flujo de energía, se debe al trabajo de Podolinsky en la década de los ochenta del siglo pasado (Martínez Alier, 1998). El EROI trata de averiguar la eficiencia del uso de energía en diferentes sectores de la economía; se trata de saber si los insumos de una actividad determinada son mayores o menores que la energía que se obtiene con dicha actividad.

BIBLIOGRAFÍA

CONRAD, M. (1983), Adaptability. Pelunm press.

EUROSTAT (1997), Indicators of sustsinble Developmente. A pilot study following the methodoogy of the United Nations Commision on Sustainable Development. Officef for official publications of the European Communities, Luxemburg.

Fòrum Cívc Barcelona Sostenible. Indicadors de Sostenibilitat (1998).

HANNON, B. (1975), Energy Conservation and the consumer. Science 189.

HAYLES, N. K. (1993), «Le evolución del caos. El orden dentro del desorden en las ciencias contemporáneas» (Gedisa Editorial).

Indicateurs d'environnement urbain (1978), OCDE. París.

LARREA, Q. y CAPELLA, J. (1996), «¿Cómo serán los objetos del futuro?» (El País, 5 de febrero).

LEVELT, R. 1998, Footprint: a greta step forward, but tread carefully, rev. Local Environment vol. 3 n.° 1.

MARGALEF, R. (1986), «Ecología» (Editorial Omega).

MARGALEF, R. (1991), «Teoría de los sistemas ecológicos» (Entidad Editora Universitat de Barcelona).

MARGALEF, R. (1992), «Ecología» (Edición revisada). Editorial Planeta.

MARGALEF, R. (1992), «Planeta Azul, Planeta Verde» (Prensa Científica, S. A.).

MARGALEF, R. (1995), «La ecología entre la vida real y la física teórica» (Investigación y ciencia. Ed. Prensa Científica)

MARTÍNEZ ALIER, J. (1998), La economía ecológica. Fundación César Manrique.

MAX-NEEF, M. A., Elizalde y M. HOPENHAYN (1995), Desarrolo a escala humana, Barcelona, Icaria.

MORÍN, E. (1994), «Introducción al pensamiento complejo» (Gedisa Editorial).

NICOLIS, G. y PRIGOGINE, I. (1977), «Self-Organization in Nonequilibrium Systems: From Dissipative Structures to order through Fluctuations» (New York: Wiley).

NORGAARD, R. B. (1990), «Economic Indicators of resource scarcity. A critical essay», Journal of Environmental Economics and Management, 19.

OCDE (1991), Indicateurs d'Environement. Corps Central de l'OCDE. OCDE, París.

OCDE (1991), Innovative Policies for Sustainable Development - The Ecological City.

Organisation for Economic Co-operation and Developement. Paris, France.

Odum, H. T. y Odum, E. C. (1980), «Energy basis for man on nature» (Mc Graw Hill inc. New York).

Opschoor, J. B. (1995), «Ecospace and the fall and rise of throughput intensity», Ecologial Economics, 15 (2).

PASSET, R. (1996), L'économique et le vivant, 2nd ed., París, Economica.
PAULY, D & V. CHRISTENSEN (1995), «Primary production required to sustain global fisheries». Nature 374.
PIMENTEL, D. et. al., (1973), «Food production and the energy crisis», Sciencie, 182.
REES, W. (1996), La huella ecológica: Población y riqueza. Indicadores territoriales de sustentabilidad. Ecología política n.º 12.
RUEDA, J. M. (1995), «Sistema: Conceptualización y Metodología» (Diputació de Barcelona. Servei de Serveis).
RUEDA, S. (1995), «Ecologia Urbana: Barcelona i la selva regió metropolitana com a referents» Breta Editorial.
VITOUSEK, Peter; EHRLICH, Paul; MATSON, Pamela (1986), «Human appropiation of the products of photosynthesis», Biosciencie.
WACKERNAGEL, M. (1996), La huella ecológica: Población y riqueza. Ciudades sostenibles Ecología política, n.º 12.
WACKERNAGEL, M. y REES, W. (1996), Our Ecological Footprint. The New Catalyst, bioregional series. Canada.
WACKERNAGEL, M. (1998), Footprints: recent steps and possible traps. rev. Local Environment vol. 3, n.º 2.
WACKERNAGEL, M. (1998), The Ecologial Footprint of Santiago de Chile Local Environment, vol. 3, n.º 1.
WACKERNAGEL, M. (1994), Ideas sobre la complejidad del mundo. Tusquets Editores.
WHO (1997), Healthy Cities Indicators. Analysi of Data from Cities across Europe. World health Organisation. Copenhagen, Denmark.

ECONOMÍA INSTITUCIONAL APLICADA A LOS RECURSOS NATURALES

FEDERICO AGUILERA KLINK
Universidad de La Laguna

INTRODUCCIÓN

En el contexto de este curso, que tiene un carácter transdisciplinar, voy a intentar mostrar con claridad cómo la perspectiva de la economía institucional preocupada por los recursos naturales y el medio ambiente insiste en la necesidad de una reconstrucción conceptual de la propia economía. Aunque bajo el rótulo de economía institucional existen, como mínimo, dos escuelas bien diferenciadas, que son la radical o crítica y la convencional también denominada como nuevo institucionalismo, seguiré la perspectiva crítica tomando como referencia los trabajos de Karl W. Kapp –un economista institucional crítico que entendía los problemas ambientales como insertos en un contexto social y económico, es decir, cultural.

En su libro «Los costes sociales de la empresa privada» (1966), Kapp argumenta que la teoría económica apenas ha prestado atención al problema generado por dichos costes, interesándose, en su lugar, por unos refinamientos conceptuales de las categorías económicas formales que no está nada claro que mejoren nuestra capacidad de análisis y de comprensión de las cuestiones ambientales. «Todo esto puede llevarnos a un refinamiento (...) que impediría razonamientos adecuados [porque] hay límites más allá de los cuales cualquier refinamiento de los conceptos no los mejora como instrumentos de análisis. Es más, a partir de un momento, el precisar o refinar un concepto llegaría a oscurecer la cuestión» (Kapp, 1966, 10). De hecho esto es exactamente lo que ha ocurrido al tratar de sustituir el concepto de coste social por el de externalidades, en apariencia más refinado conceptualmente pero en realidad mucho más irrelevante, tanto desde un punto de vista teórico como empírico, y vacío puesto que sólo consiste en una etiqueta que evita profundizar en su contenido y que gran parte de los economistas y no economistas emplean, aparentando conocer y controlar el problema, pero sin saber muy bien de qué

están hablando ni cuáles son las implicaciones que conlleva su uso[1]. Por eso Kapp insiste en que la solución de los problemas teóricos y prácticos que plantea el fenómeno de los costes sociales (y de los beneficios sociales) parece requerir «una nueva forma de aproximación pragmática a criterios de bienestar objetivamente contrastables».

Pero no es solamente esto. Después de reflexionar a lo largo del libro sobre estos criterios en términos de «estándares mínimos», idea que toma de Ciriacy-Wantrup, el título, «Hacia una nueva economía política», que le pone al último capítulo del citado libro, refleja claramente que la búsqueda de criterios sólo tiene pleno sentido dentro de un proyecto de investigación más amplio. Así se entiende que en el último párrafo del libro Kapp proponga una reconstrucción conceptual de la economía en los siguientes términos: «Sólo desterrando las premisas filosóficas de los siglos XVIII y XIX; reformulando y ampliando el significado de los conceptos básicos de riqueza, producción y renta; y complementando el análisis de los precios de mercado con el estudio del valor social, podrá la ciencia económica alcanzar la comprensión crítica e imparcial del proceso económico que le permita ser útil a cualquier forma de organización económica. Incluyendo los costes sociales, los rendimientos sociales y el valor social en el análisis, la ciencia económica llegará a ser «economía política», profunda y amplia, mas no la de los clásicos» (Kapp, 1966, 307).

En otras palabras, la comprensión de los problemas ambientales y de la gestión de los recursos naturales a través de la noción de los costes sociales, exige una reconstrucción conceptual de la economía y, para Kapp, esa reconstrucción requiere profundizar en tres aspectos que están relacionados: a) El destierro de las premisas filosóficas de los siglos XVIII y XIX; b) La reformulación y ampliación del significado de los conceptos básicos y c) Cómo complementar el análisis de los precios de mercado con el estudio del valor social. Después de profundizar en estas cuestiones mostraré cómo las aplica Kapp al estudio de los recursos naturales y de los problemas ambientales a través de la noción de los costes sociales.

---

[1] Una crítica parecida fue elaborada por Mishan al señalar que los economistas profesionales tendían a considerar a las externalidades más como un obstáculo sobre el cual resultaba fácil teorizar, que como una auténtica amenaza social. La familiarización con tan sencillo concepto, y las referencias rituales al mismo en las notas a pie de página, parecían haber impartido el sentimiento de que el problema estaba bajo control. En consecuencia, muchos economistas siguieron ignorando los acontecimientos que se configuraban a su alrededor, sumergiéndose en la fascinación intelectual de los modelos de desarrollo cuasi-matemáticos, y de los problemas teóricos implicados en las soluciones generales de sistemas óptimos» (Mishan, 1971, 57). Una crítica detallada sobre la noción de externalidades y sus limitaciones puede encontrarse en Aguilera (1991).

HACIA UNA RECONSTRUCCIÓN CONCEPTUAL DE LA ECONOMÍA

La consolidación de la economía como una disciplina no puede desligarse del contexto científico, filosófico y social –la revolución científico social– del siglo XVIII. La aceptación de que el conocimiento científico descansa en una perspectiva atomista (parcelaria) y mecanicista y el consiguiente éxito de esta perspectiva, aplicada a las ciencias naturales, deslumbra de tal manera a los filósofos sociales que tratan de aplicarla al campo de lo económico y lo social. Se hace necesario, en consecuencia, redefinir ese campo, buscando nociones que tengan sentido desde esa nueva perspectiva. El resultado es la configuración de la economía como una disciplina que queda reducida al ámbito de los valores monetarios y del individualismo metodológico, que se deja en el camino los valores sociales más destacados de la Ilustración y que, además, pretende ser considerada como la ciencia que guía la acción racional, confundiendo la razón –entendida como pensamiento libre de prejuicios– con una racionalidad formal, unidimensional, de carácter supuestamente universal aplicable en cualquier contexto. Esto explica la insatisfacción de Kapp con la economía convencional y su insistencia en las tres cuestiones anteriores.

El destierro de las premisas filosóficas de los siglos XVIII y XIX pretende un cambio de perspectiva en el conocimiento que asume que no existen realidades económicas ajenas a una interacción, continua e inevitable, con lo ambiental y lo social. Así pues, frente a la perspectiva atomista y mecanicista, Kapp postula el análisis sistémico y la causación circular acumulativa o interdependencia entre los sistemas, «Necesitamos de un nuevo enfoque que permita manejar las interrelaciones dinámicas entre los sistemas económicos y el conjunto de los sistemas físico y social y, por cierto, todo el sistema compuesto de relaciones estructurales» (Kapp, 1978, 331). Quizás el economista que mejor ha sabido presentar, de manera ordenada, unas premisas filosóficas alternativas a las de los siglos citados, como expresión del pensamiento necesario para abordar adecuadamente los problemas actuales, ha sido Norgaard (1994). En este sentido, el Cuadro 1 constituye una buena exposición de los retos intelectuales a los que nos enfrentamos en la actualidad. Se trata, en definitiva, de reflexionar y de asumir para qué problemas pueden seguir siendo relevantes las premisas filosóficas dominantes y de comenzar a pensar, en la medida en la que sepamos y nos atrevamos, de acuerdo con las premisas alternativas.

Dos advertencias muy importantes hacía Kapp en relación con la facilidad o dificultad de avanzar en este terreno. La primera, siguiendo a Ackoff, se dirige a aquellos que exigen resultados inmediatos de esta nueva forma de pensar, y señala que «Sería una actitud poco realista esperar que el tipo de pensamiento sistémico se presentará en un estado maduro (...) deberá evolucionar a partir de proposiciones, discusiones, reformulaciones y experiencia. Pensar en sistemas es inevitablemente complejo (...) es una innovación y presupone una nueva perspectiva que exige el abandono del viejo conocimiento

antes de que el nuevo pueda crearse» (Kapp, 1978, 331-332). La segunda se refiere a la ruptura académica que supone y a los obstáculos que la propia academia puede presentar puesto que «Una innovación de este tipo se siente como fuente de molestia y disgusto, como un destructor de la rutina, como un minador de la complacencia. Difícilmente puede esperarse que las innovaciones de esta clase provengan de estudiosos con un criterio convencional, ya que exigen una gama de referencia más amplia que la que los representantes de la ciencia 'normal' aportan para dominar su materia de estudio (Kapp, 1978, 332).

Cuadro 1. PREMISAS DOMINANTES Y ALTERNATIVAS

DOMINANTES	ALTERNATIVAS
Atomismo: Los sistemas consisten en partes que no cambian y son simplemente la suma de esas partes.	**Holismo:** Las partes no pueden comprenderse separadas de sus todos y los todos son diferentes de las sumas de las partes.
Mecanicismo: Las relaciones que existen entre las partes son fijas, los sistemas se mueven suavemente de un equilibrio a otro y los cambios son reversibles.	**Análisis Sistémico:** Los sistemas pueden ser mecánicos, pero también pueden ser determinísticos aunque impredecibles porque son caóticos o simplemente muy discontinuos. Los sistemas también pueden ser evolucionistas.
Universalismo: Los fenómenos complejos y diversos son el resultado de leyes universales que son pocas en número e invariables a lo largo del tiempo y del espacio.	**Contextualismo:** Los fenómenos dependen de un amplio número de factores relacionados con el tiempo y el lugar. Fenómenos similares pueden ocurrir en diferentes momentos y lugares debido a factores muy diferentes.
Objetivismo: Podemos apartarnos o no dejarnos influir por lo que tratamos de comprender.	**Subjetivismo:** Los sistemas no se pueden entender apartados de nosotros y de nuestras actividades, de nuestros valores y de cómo hemos adquirido el conocimiento y, en consecuencia, de cómo hemos actuado en el pasado sobre los sistemas.
Monismo: Nuestras diferentes maneras de comprender los sistemas complejos se funden en un todo coherente.	**Pluralismo:** El conocimiento sobre los sistemas complejos sólo puede obtenerse mediante modelos alternativos de pensamiento que son necesariamente simplificaciones de la realidad. Los diferentes modelos son inherentemente incongruentes.

Fuente: Norgaard (1994)

Desde luego, queda mucho camino por recorrer para aprender a pensar de acuerdo con las premisas alternativas y para construir un conocimiento de tipo sistémico que rompa con las barreras disciplinarias o, simplemente, departa-mentales. Puede incluso que la configuración de este tipo de conocimiento sea imposible, desde un punto de vista académico, debido a la propia complejidad de los sistemas que intentamos comprender y de sus interacciones. En cualquier caso, no se trata de saber de todo sino de tener capacidad de plantearse cuáles son las preguntas pertinentes o relevantes antes de tomar las decisiones, es decir, de esbozar las potenciales implicaciones derivadas de asumir las premisas alternativas y de ser consecuentes con ellas. No deja de llamar la atención, sin embargo, el que dichas premisas estén incorporadas de forma implícita, quiero decir sin un conocimiento científico-académico previo pero sí mediante un conocimiento empírico local, en los estilos de vida y en la toma de decisiones de gran parte del mundo rural considerado como subdesarrollado, como ilustra el cuadro 2, al comparar cómo se ve la agricultura y la silvicultura desde la perspectiva del «conocimiento científico universal» (premisas dominantes) y desde la perspectiva del «conocimiento local» que, en definitiva, asume implícitamente las premisas alternativas, al conocer el contexto en el que se vive y al ser consciente y tener una clara percepción de las implicaciones e interrelaciones que existen entre la naturaleza y los estilos de vida. En otras palabras, la mayoría de los pueblos llamados subdesarrollados disponen de unos mecanismos culturales que les permiten entender su relación con el medio natural y actuar en consecuencia, algo de lo que, en gran medida, carecemos en los países llamados desarrollados. Pero además, la supuesta universalidad de las premisas dominantes del conocimiento conduce a ignorar y a no reconocer otras formas de conocimiento y de racionalidad diferentes de la dominante. Así pues, para los expertos «occidentales» cualquier organización social que razone en términos diferentes a los dominantes es calificada como pobre, subdesarrollada y necesitada del desarrollo. El resultado final es la desestructuración social y la creación de nuevos tipos de pobreza (Shiva, 1990), perdiendo los pueblos su capacidad de organización y de autosubsistencia.

Cuadro 2. COMPARACIÓN ENTRE LOS SISTEMAS DE CONOCIMIENTO LOCAL Y DOMINANTE

SISTEMA LOCAL	SISTEMA DOMINANTE
1. Agricultura y silvicultura integradas.	1. La agricultura separada de la silvicultura.
2. Los sistemas integrados proporcionan un producto multidimensional. El bosque produce madera, alimentos, forraje, agua, etcétera y la agricultura produce una variedad de cosechas y alimentos	2. Cada sistema separado presenta una dimensión. El bosque sólo produce madera para su venta. La agricultura sólo produce cultivos comerciales con inputs industriales.
3. La productividad en los sistemas locales es una medida multidimensional, siendo un aspecto la conservación.	3. La productividad es una medida unidimensional que ignora la conservación.
4. Aumentar la productividad en estos sistemas de conocimiento requiere aumentar el producto de carácter multidimensional y reforzar la integración.	4. Aumentar la productividad en estos sistemas de conocimiento requiere aumentar el producto unidimensional rompiendo las integraciones y desplazando los diversos outputs.
5. La productividad descansa en la conservación de la diversidad.	5. La productividad descansa en la creación de monocultivos y en la destrucción de la diversidad.
6. Este es un sistema sustentable.	6. Este es un sistema no sustentable.

Fuente: Shiva (1993). Monocultures of the Mind

La reformulación y ampliación del significado de los conceptos básicos no es nada más que un objetivo necesario si se asumen las premisas alternativas. Dicho de otra manera, el problema es que los conceptos que han sido configurados para una economía de sistema cerrado, es decir, sin relaciones con el sistema social y el sistema ambiental, y que sólo tienen capacidad explicativa dentro de ella, pierden dicha capacidad explicativa en una economía de sistema abierto o en interdependencia con los sistemas social y ambiental. Más concretamente, «... los sistemas económicos están íntima y recíprocamente relacionados con los otros sistemas y, en este sentido, son fundamentalmente sistemas abiertos. Es posible que el considerar a la economía como un sistema cerrado resulte conveniente desde el punto de vista metodológico y le permita a la teoría económica formular sus conceptos y teorías de acuerdo con los cánones de la lógica matemática formal, pero ello tiende a perpetuar una equivocada percepción de la realidad, que reduce nuestro horizonte teórico» (Kapp, 1978, 128).

No se olvide que el proceso mediante el cual la economía se va configurando como una disciplina, para poder enunciar las leyes y regularidades que rigen la producción y distribución de los bienes materiales y la riqueza, exige

una redefinición de las nociones de producción y de riqueza, de igual manera que exige una reconsideración de lo económico puesto que este último se ha ido alejando de la idea aristotélica de economía para centrarse exclusivamente en aquello que es objeto de intercambio a través de los mercados autorregulados –autorregulación que inicialmente encuentra su justificación en la «sabia» naturaleza y que, en el fondo, no es nada más que una excusa para evitar las injerencias arbitrarias del rey, los nobles y la iglesia, pero que se acaba convirtiendo en uno de los pilares ideológicos del capitalismo fuertemente regulado por los poderosos en connivencia con los gobiernos «democráticos»– y que tiene un valor monetario que se refleja en los precios. Como ha señalado Naredo, desaparecen los resabios fisiocráticos que reconocían la importancia de lo físico (de la naturaleza) en las nociones de producción (física) y de riqueza (renaciente) para, finalmente, acabar consolidándose la noción de producción entendida como producción de valores de cambio mientras que la idea de riqueza queda reducida a la de revender con beneficio, es decir, a la de acumular dinero, noción que ya era considerada por Aristóteles en su Política como «bien extraña, en cuya abundancia se perece de hambre, como cuentan en el mito de aquel Midas que al cumplirse su deseo convertía en oro todo lo que tocaba».

En suma, ante el objetivo de alcanzar un status «científico» como disciplina, la economía va perdiendo contenido, relevancia y capacidad explicativa, lo que haría decir a Hicks que «debido a que el campo de los fenómenos con los que trata la economía es tan estrecho, los economistas están continuamente dándose cabezazos contra sus límites» (Hicks, 1979, 22) y a Coase, ambos premios Nobel de Economía, que «la economía convencional (...) se ha ido convirtiendo en algo cada vez más abstracto (...) y está poco preocupada por lo que ocurre en el mundo real (...) pero es a lo que los economistas se han ido acostumbrando, viviendo en ese mundo confortablemente» (Coase, 1998, 72).

Una crítica, tan lúcida y temprana como ignorada, a una noción tan reduccionista de riqueza y a sus implicaciones ya fue planteada por Marshall nada menos que en 1879. Para este autor, «... al valorar la riqueza de una nación es fácil que se cometan errores. Primero, porque muchos de los dones que la naturaleza ofrece al hombre no se incluyen de ninguna manera en el inventario y, segundo, porque en éste se subestima la importancia de todo lo que, por abundar mucho, tiene un valor pequeño en el mercado» (Marshall, 1879). El problema es que si se acepta la crítica de la noción de riqueza es necesario aceptar la necesidad de una racionalidad de sistema abierto, algo que rompe por completo con la economía convencional actual pues conduce a cuestionar la relevancia y la prioridad de la vara de medir monetaria como criterio fundamental que legitima la toma racional de decisiones así como a cuestionar la existencia autónoma de un mundo económico-monetario. Así pues, aunque la crítica de Marshall es acertada y llevaría a cambios fundamentales en la noción de economía, en la noción de riqueza y en la elabora-

ción de la Contabilidad Nacional, él no se atreve a dar el paso definitivo, algo que sí hace Kapp, como vimos más arriba, insistiendo además en que «... los nuevos conceptos de riqueza y producción deben ser definidos en forma tal que se incluyan valores no monetarios. Por tanto, la riqueza no debe consistir solamente en mercancías que son cambiadas en los mercados; incluye también bienes y servicios que son útiles y socialmente necesarios independientemente de que sean o no intercambiables y evaluables en términos de valores de cambio. Y, en consecuencia, la producción abarca la creación de infinidad de cosas que sean consideradas útiles e importantes desde el punto de vista de la nación, sean o no intercambiables, apropiables privadamente o socialmente beneficiosas» (Kapp, 298, 1966). La cuestión a abordar es cómo hacer compatible la producción con la riqueza.

La paradoja consiste en que el aumento (crecimiento) de la producción, puede conducir a una disminución de la riqueza al provocar el deterioro de los servicios que son útiles y socialmente necesarios que no tienen valor de cambio, tal y como ocurre con la naturaleza y con las funciones ambientales que presta. Por eso es importante tener claro que no puede existir un aumento en la producción (crecimiento) que sea socialmente deseable si se consigue a costa de deteriorar y disminuir la riqueza natural (las funciones ambientales), especialmente en el caso en el que se generan irreversibilidades. Desde luego, es cierto que puede aumentar el indicador de producción y de riqueza en valores monetarios, es decir, el PNB, aceptado y legitimado por la mayoría de los economistas, pero es totalmente erróneo deducir de ese aumento que efectivamente somos más ricos o estamos mejor, ya que no nos dice nada sobre lo que ocurre con la riqueza real y natural (el sistema ambiental). Es más, en algunos casos es el deterioro del sistema ambiental el que se considera como un éxito económico (aumento de riqueza monetaria o de negocios) ya que conduce a la comercialización de sustitutos, como ocurre con el agua embotellada. Así, cuanto más se deterioran los acuíferos y los sistemas hídricos (deterioro que no se refleja en ningún tipo de contabilidad) más agua embotellada se vende, lo que se traduce en una «mejora» de los indicadores económicos de producción y riqueza. En consecuencia, a mayor deterioro de la riqueza ambiental más necesidad de reponer y de «invertir en medio ambiente», en el caso de que sea posible restaurar el deterioro, más volumen de negocio y más «éxito económico», como ha señalado Leipert[2].

---

[2] Otra noción que también debe ser cuestionada es la de consumo tal y como la utilizan los economistas. La razón es que consumo se identifica con desaparición material o eliminación física de lo consumido. Así pues, algo consumido es algo que deja de existir. Esta noción confunde la finalización de la capacidad para prestar unos servicios –capacidad que desaparece cuando se consume algo y se transforma en un residuo, que a su vez es capaz de prestar otros servicios transformando, a veces, el residuo en un nuevo recurso– con su eliminación física, algo esto último que es imposible, de acuerdo con la ley de la conservación de la materia y de la energía. Ayres y Kneese (1969) plantearon ya esta cuestión hace muchos años, pero la mayoría de los economistas siguen ignorando la existencia de las leyes físicas en sus razonamientos.

Ahora bien, desde que se acepta que los valores monetarios de cambio no son ni los únicos ni los más importantes a tener en cuenta, se hace necesario *complementar el análisis de los precios de mercado con el estudio del valor social* incluyendo las pérdidas y ganancias sociales, lo que nos permitirá superar la actual consideración, arbitraria y normativa, que califica como improductivas a las actividades que crean utilidades sociales cualitativas. Así pues, no sólo no es adecuado presentar estimaciones cuantitativas, en términos monetarios, de los costes sociales sino que la determinación de la magnitud de estos costes de manera adecuada es, fundamentalmente, una cuestión de evaluación social y de valores sociales, en el sentido de lo que es valioso para la sociedad. En este sentido, el concepto de valor social en el que está pensando Kapp no es aquel que está relacionado con la construcción de curvas de utilidad y demanda sociales o partiendo de las curvas de indiferencia, ya que reproducen la racionalidad básica de la economía (monetaria) de sistema cerrado. Por el contrario, cuando Kapp habla del concepto de valor social está pensando en la determinación sustantiva o práctica de los valores sociales y del bienestar social que están relacionados con aspectos fundamentales como el mantenimiento de la vida humana y los estándares mínimos de salud pública, de la conservación de la fertilidad del suelo y de los sistemas naturales y ambientales, la eliminación de las desigualdades y el subdesarrollo, etc.

En términos más precisos, el concepto de valor social intenta mostrar que la economía debe estar al servicio del hombre y no al revés por lo que debe respetar (y no violar) unos valores sociales que son previos a las dimensiones y valoraciones monetarias obtenidas a través de los precios de mercado reales o hipotéticos. Esto significa, si realmente asumimos que queremos vivir en un sistema democrático, que los valores sociales en los que se basa la democracia deben ser el marco de referencia para la toma de decisiones y para la configuración de lo que es aceptable y de lo que no lo es en economía. Se trata como aconsejaba Antonio Machado, de no ser como los necios que confunden el valor y el precio.

ECONOMÍA INSTITUCIONAL, COSTES SOCIALES Y RUPTURA AMBIENTAL

La economía convencional trata de abordar los problemas ambientales desde la perspectiva de las externalidades. Kapp estaba familiarizado con este término pero lo rechazó por diferentes razones, siendo algunas de ellas la connotación de que las externalidades son «excepcionales, ocasionales, pequeños desequilibrios sin importancia o subproductos de los procesos de desarrollo y cambio económico» en lugar de ser consideradas como algo consustancial a dichos procesos, debido a las interdependencias sistémicas, que afecta de muy diferentes maneras a las personas y a la naturaleza y que genera, por lo tanto,

importantes conflictos distributivos intra e intergeneracionales. Así pues, la noción central de la que se sirve Kapp para mostrar estas interdependencias es la de «costes sociales» noción que, como él reconoce, puede que no sea muy precisa en términos de su medición, algo que no le preocupa demasiado puesto que de lo que se trata es de mostrar su utilidad conceptual para comprender problemas y, sobre todo, para plantear preguntas que no pueden ser respondidas de manera convincente (o relevante) por la economía convencional, de ahí su insistencia en la reconstrucción conceptual de la economía para poder abordar los problemas ambientales o, en la terminología que utilizará algunos años más tarde, la ruptura ambiental (Kapp, 1970).

Con este propósito en mente, define los costes sociales como «... todas las pérdidas, directas o indirectas, soportadas por terceras personas o por el público en general, como resultado del desarrollo ilimitado de actividades económicas (...) de las que los empresarios privados no se consideran responsables (siendo) las causas fundamentales el que el empresario privado debe minimizar los costes privados de la producción de acuerdo con su fin de incrementar los beneficios» (Kapp, 1966, 29-30). Esta definición, al ser abierta, permite profundizar en las implicaciones de los costes sociales, no estableciendo una tipología más o menos descriptiva, como ocurre con las externalidades, sino destacando las múltiples dimensiones que subyacen en los problemas ambientales y que son fundamentalmente ignoradas por la visión convencional. Empleando una terminología más actual que la utilizada por Kapp en su momento, podemos destacar las siguientes características de los costes sociales:

1. Multidimensionalidad e incomensurabilidad monetaria.
2. Interdependencia, complejidad e indeterminación.
3. Conflictos distributivos, procesos sociales y poder.
4. Indicadores ambientales, valores sociales y participación política.

Multidimensionalidad e incomensurabilidad monetaria

Las pérdidas a las que inicialmente alude Kapp son de diversos tipos, tales como los daños a la salud humana, la destrucción total o el deterioro de los valores de las propiedades, el agotamiento prematuro de los recursos naturales e incluso pueden tomar la forma de daños a valores menos tangibles (Kapp, 1966, 29). En trabajos posteriores, y aunque no abandona la noción de coste social, emplea con más frecuencia la noción de ruptura ambiental, tomada de Shigeto Tsuru, insistiendo en que cuando habla de ruptura ambiental se está refiriendo al deterioro del medio ambiente natural y social del hombre. Lo anterior significa que las formas de deterioro en las que está pensando, van más allá de la contaminación del agua y del aire e incluyen las condiciones de

vida y de trabajo inadecuadas, el ruido excesivo, la congestión urbana, las horas de desplazamiento hacia y desde el trabajo, las altas tasas de accidentes, etc., siendo un aspecto fundamental de estas formas de deterioro su carácter multidimensional.

En definitiva, más que reducir las múltiples dimensiones de los costes sociales, ya sean físicas, sociales, económicas, culturales, etc., a un supuesto denominador común monetario, con la pérdida real de información que conlleva ese paso, se trataría, al contrario, de resaltar la existencia y la relevancia de esas dimensiones a la hora de tomar decisiones que afecten a la satisfacción de las necesidades y de los requerimientos sociales, de manera que sea la sociedad la que, a través de sus valores, vaya estableciendo una jerarquía que permita evaluar la importancia de las múltiples dimensiones.

Por otro lado y aunque Kapp critica y rechaza la valoración monetaria de estas pérdidas, también insiste en que la cuestión a plantearse no consiste en discutir si es o no posible llevar a cabo las valoraciones monetarias sino en preguntarse si tales valoraciones monetarias tienen algún significado. Para él no lo tienen desde un punto de vista cognitivo, es más, advierte sobre los efectos ilusorios de la cuantificación, es decir, de que los esfuerzos para cuantificar algo pueden ser vanos, llegando incluso a crear la apariencia de una medida cuantitativa (Kapp, 1966, 37). Tres son las razones que argumenta Kapp para rechazar las valoraciones monetarias en términos de la disposición a pagar por una mejora ambiental o a recibir compensaciones por aceptar un deterioro ambiental. La primera es la dependencia que tienen esas mediciones del nivel de renta o capacidad de pago y de su distribución, con el peligro consiguiente de interpretar una escasa disposición a pagar como indicador válido de una baja preocupación por un problema ambiental. Ahora bien, el problema de fondo consiste en la racionalidad que subyace en lo anterior, es decir, en que las expresiones monetarias presentan el efecto engañoso de reinterpretar las necesidades humanas y su importancia relativa en términos de preferencias o deseos monetarios. En otras palabras, la crítica va dirigida a la utilización de la racionalidad económica para evaluar la importancia de los daños. La segunda se refiere al desconocimiento que tiene la mayoría de los individuos sobre los efectos reales de las pérdidas que se le pide que valore. La tercera insiste en que esta manera de plantear los problemas ambientales sugiere que sólo son relevantes aquellos problemas cuya solución es rentable en términos unidimensionales, es decir, aplicando el análisis coste-beneficio.

Interdependencia, complejidad e indeterminación

La segunda implicación es que no es fácil comprender el origen de los costes sociales puesto que no siempre existe una correspondencia lineal y clara entre una causa y un efecto. Es más, suele ocurrir con frecuencia lo contrario, es decir, que el origen de los costes sociales se encuentre en la «con-

junción» de una gran cantidad de factores cuyos efectos se acumulan. Nos enfrentamos, pues, a la característica *interdependencia de todos los fenómenos de la realidad social,* por lo que, «En contraste con el análisis neoclásico tomamos aquí el principio de la causación acumulativa como hipótesis principal para el análisis de las relaciones sociales y, en particular, de los procesos económicos» (Kapp, 1966, 39). Desde luego, tomar como punto de partida el principio de causación acumulativa o la existencia de interdependencias que pueden ser analizadas críticamente –en lugar de considerarlas como excepcionales y ocasionales, que es lo que hace la economía convencional– representa un importante paso adelante para la comprensión de estos problemas.

Al mismo tiempo, el reconocimiento de esas interdependencias nos introduce en un mundo en el que la *complejidad* es un aspecto fundamental pues muchas interdependencias tampoco pueden llegar a determinarse con precisión debido, por lo menos, a dos razones. La primera se refiere al *retraso temporal* en la aparición de ciertas pérdidas o deterioros ambientales, en relación con el momento en el que tiene lugar la emisión de residuos, con lo cual es muy difícil, o incluso imposible, atribuir esas pérdidas a las actividades concretas que las generaron. Un claro y actual ejemplo de este retraso lo proporciona la destrucción de la capa de ozono. Así, «Los contaminantes que destruyen la capa de ozono tardan unos 15 años en recorrer el camino desde la superficie terrestre hasta la estratosfera, donde llevan a cabo su sucia tarea. Los daños que vemos ahora son la consecuencia de nuestro comportamiento de hace 15 años. Las emisiones de este año se verán pues dentro de otros 15 y, una vez estos contaminantes lleguen a la estratosfera, se quedarán allí durante décadas. No es fácil encauzar la política del ozono basándose en información que llega con más de una década de retraso» (Meadows, 1996, 62).

La segunda razón también se puede relacionar con la anterior y estriba en la existencia de los *efectos sinérgicos* entre los distintos tipos de residuos o de acciones. La investigación reciente sobre los efectos sinérgicos entre las sustancias químicas usadas en combinaciones diferentes, muestra que la situación es mucho más dramática de lo que se pensaba. Todavía se siguen estudiando los posibles efectos cancerígenos o mutágenos de las sustancias químicas de manera aislada. Pero este procedimiento ya no puede justificarse. Para determinar los efectos reales, necesitaríamos probar las sustancias químicas en todas sus combinaciones posibles, algo que es imposible, tanto desde un punto de vista logístico como financiero. La razón es que para probar sólo las 1.000 sustancias químicas tóxicas más comunes, en combinaciones de tres (en una dosis estándar, es decir, sin cambiar las dosis en ningún experimento) requeriría, como mínimo, 166 millones de experimentos diferentes. Suponiendo que cada experimento lleva sólo una hora y que 100 laboratorios trabajen siete días a la semana, probar las combinaciones citadas llevaría 180 años (Howard, 1997, 193). Ambas razones dificultan enormemente

el proceso de establecer unas relaciones causales claras entre las actividades económicas y los costes o pérdidas sociales.

Kapp es consciente de estas limitaciones y de que no tenemos los medios para superarlas llegando a reconocer que «... los problemas de la ruptura ambiental enfrentan al científico social con una compleja e inusual serie de interdependencias y de efectos acumulativos futuros; cualquier intento de tratar estas relaciones cuantitativas o cualitativas sólo puede dar lugar a una visión simplista y por tanto inadecuada y falsa del problema, particularmente en lo que compete a la formulación de criterios para la acción» (Kapp, 1970, 153). Puede parecer que al final no avanzamos con este enfoque ya que no encontramos respuestas o soluciones precisas. Entiendo, no obstante, que lo importante no consiste precisamente en encontrar soluciones sino en tratar de comprender y de definir adecuadamente los problemas. Dicho de otra manera, lo que me preocupa, o lo que le preocupa a Kapp, es la relevancia de las preguntas aunque las respuestas sean incompletas o imprecisas y no la precisión en las respuestas a preguntas que son irrelevantes. Obviamente, la situación es diferente cuando sí es posible establecer una relación causal y clara entre determinadas actividades y determinados impactos o pérdidas.

Pero ante una realidad en la que lo más habitual es no poder causalizar con claridad esa relación, Kapp en tanto que economista institucionalista está convencido de que «... la *indeterminación* y la carencia de precisión son sólo en parte el resultado de las lagunas en nuestros conocimientos sobre la relevancia de las relaciones causales. Ambas constituyen un residuo forzoso de la indeterminación que tiene su base en las condiciones existentes y que es inherente a las interdependencias y a la carencia de valoraciones humanas homogéneas. El intento de superar esta *forzosa indeterminación* por medio de conceptos formulados con mayor precisión de lo que se justifica por las condiciones existentes, sería evidencia, no de claridad lógica, sino del error lógico y del sesgo oculto, es decir, de un tipo de pensamiento ilógico que es perjudicial para el análisis científico» (Kapp, 1968, 237) (la negrita es mía). Parece lógico, pues, que esta indeterminación y esta falta de precisión conduzcan, ya que asumimos que vivimos en un contexto democrático en el que es necesario profundizar día a día, a prestar mayor atención al debate público informado en el que se terminan dilucidando estas cuestiones, a la importancia de la participación ciudadana y a la comprensión de los procesos sociales, a la configuración de los valores individuales y sociales y al conflicto entre valores e intereses.

Conflictos distributivos, procesos sociales y poder

Kapp es muy claro a la hora de señalar que tanto los costes sociales como las medidas de prevención que tratan de evitarlos plantean *conflictos distributivos* mediante la traslación de parte de los costes de producción a terceras personas o a toda la comunidad, según cuál sea la magnitud de dichos costes

(Kapp, 1966, 31). La razón es que los empresarios pueden apropiarse de una proporción del producto nacional mayor de la que les correspondería, pagando también los consumidores un precio más bajo del que deberían pagar si los empresarios cargaran con todos los costes de producción. Ahora bien, mientras en sus primeros trabajos insiste en la redistribución de la renta monetaria, posteriormente amplía el problema a la redistribución de la renta real (Kapp, 1972, 242), reconociendo que los *efectos distributivos* poseen un *carácter multidimensional,* como señalé más arriba. En cualquier caso, hay dos aspectos más que caracterizan a este proceso de redistribución. El primero es la incidencia tanto sobre las *generaciones actuales como sobre las futuras,* ya sea agotando recursos, deteriorando el medio ambiente o generando daños a la salud. El segundo es que esta redistribución afecta a los *grupos más débiles, económica y políticamente,* de las generaciones actuales. Más aún, critica cómo la disposición (política) a aceptar «riesgos (supuestamente) calculados» con respecto a la salud y a la vida humana fue y es una violación de todos aquellos sistemas de ética que exigen el sacrificio de la salud y de la vida, ya sea para conseguir un aumento de la producción, ya sea guiados por alguna noción abstracta de bien común. Esta idea de asumir riesgos supuestamente calculados, en la que no profundiza, es bastante similar a la que viene desarrollando Beck (1991) desde hace algunos años sobre la sociedad del riesgo. Para este autor, nos encontramos en una sociedad a la que califica de «irresponsabilidad organizada» puesto que carecemos de instituciones y de instrumentos culturales que estén preparados para hacer frente a numerosos riesgos, a la vez que existen numerosas instancias especializadas en negar que existen dichos riesgos, recurriéndose al dogma de la infalibilidad técnica –política simbólica de descontaminación– para refutar la hipótesis de una posible catástrofe.

Todo lo anterior lleva a Kapp a explicitar, aunque según él resulta obvio, que «... se trata de materias sujetas a la controversia política y al juego de las fuerzas políticas» (Kapp, 1966, 31). De hecho él interpreta la historia política de los últimos 150 años como un *proceso social conflictivo* que muestra, por un lado, el rechazo a los costes sociales y, por el otro lado, la necesidad de su prevención y de una distribución más equitativa de sus cargas que refleja un cambio en la <balanza del poder> a favor de aquellas clases y grupos de la sociedad que han soportado, hasta ahora, las pérdidas sociales y que ahora están usando de su influencia política y económica en un esfuerzo para protegerse de los efectos negativos del progreso (Kapp, 1966, 31). No en vano, la ruptura ambiental tiene lugar en un contexto institucional que legitima o asume la existencia y distribución de los costes sociales. Así pues, «... en las sociedades modernas, los efectos de ruptura (ambiental) se ponen en marcha por el uso, a menudo indiscriminado, de técnicas industriales bajo condiciones específicas de relaciones legales institucionalizadas y bajo patrones específicos de acción y de inversión. Por lo tanto (...) observar el problema independientemente del marco institucional, en el cual dicho problema tiene lugar,

puede conducir a una visión incompleta y por tanto falsa. En resumen, *la cadena causal es a la vez un proceso físico y social»* (Kapp, 1970, 132).

En el fondo, lo que está planteando Kapp es la necesidad de que el economista se interese por el estudio del poder, es decir, por el estudio de cómo los procesos sociales configuran a través de los conflictos políticos los marcos institucionales que no son otra cosa que diferentes opciones de apropiarse de ciertas ventajas o beneficios y de cargar con ciertas desventajas o costes. Como ha señalado Bromley, «La política pública no es ni más ni menos que la redistribución de las ventajas entre los miembros de la sociedad. Si los economistas comprendiesen esta verdad, no habría tanta adhesión incondicional a los resultados que, por definición, parecían eficaces» (Bromley, 1985, 69). Por eso tiene especial importancia para los economistas que consideremos que también forma parte de la economía el estudio de la configuración de los diferentes marcos institucionales, puesto que es la comprensión de esa configuración la que nos va a permitir entender realmente la economía al arrojar luz sobre los resultados que muchos economistas tratan de interpretar como totalmente desligados del marco institucional. En otras palabras, ni los precios, ni los mercados, ni la distribución de la renta monetaria, ni la distribución de los costes sociales son independientes del marco institucional. Más bien, al contrario, sólo pueden entenderse adecuadamente si conocemos cómo se ha configurado dicho marco y el papel que se pretende que juegue. Esto explica la insistencia de Bromley en que los economistas institucionales preocupados por los recursos naturales se planteen, al menos, tres preguntas básicas: a) ¿Quiénes controlan las reglas de gestión (instituciones) que determinan la tasa de uso de los recursos naturales?, b) ¿Quiénes están en posición de recibir los beneficios derivados de una pauta específica de uso? y c) ¿Quiénes están expuestos a cargar con los costes surgidos del uso de los recursos naturales?

Indicadores ambientales, valores sociales y participación política

Ante estas características de los costes sociales y dadas las limitaciones de la economía convencional para abordarlos, Kapp sugiere la necesidad de un esfuerzo de *investigación cooperativa de carácter multidisciplinar* y la elaboración científica de estándares o indicadores ambientales como expresión de los valores sociales. La razón estriba en que los costes sociales derivados de la contaminación de los recursos y del deterioro ambiental, pueden considerarse como un deterioro de «fuerzas productivas» que «... tienen un *valor social* que no puede tasarse ni en términos de riqueza individual ni en valores de mercado. Constituyen *valores de la sociedad,* para los cuales los cálculos del mercado prevén, en el mejor de los casos, sólo una medida aproximada y, ciertamente, no exhaustiva. Los *valores sociales* de este tipo necesitan una estimación global de todas las consecuencias políticas y sociales de

la acción y de la no acción (...) Una tasación científica de este tipo conduciría a la elaboración de estándares tipos para la concentración permisible máxima de los varios contaminantes del medio ambiente» (Kapp, 1966, 101). La propuesta de fijar estándares procede, como reconoce Kapp, del trabajo de Ciriacy-Wantrup (1952) en el que éste defiende el establecimiento de los estándares mínimos de seguridad con el objetivo de evitar irreversibilidades. Ahora bien, debido a la gran variedad y complejidad que caracterizan a los distintos recursos, Ciriacy-Wantrup cuestiona la escasa operatividad de fijar un estándar mínimo de seguridad para cada recurso en términos de una tasa de uso que debe mantenerse, considerando más práctico «... definir un estándar mínimo de seguridad en términos de las prácticas de conservación destinadas a evitar la zona crítica (zona irreversible). Esta definición puede hacerse en términos de las condiciones que deberán mantenerse (definición en términos de los resultados) o en términos de la ejecución de prácticas de conservación específicas» (Ciriacy-Wantrup, 1952, 74-75).

Estos estándares no sólo servirían para medir la contaminación sino para formular políticas que, a su vez, fueran consistentes con otra serie de valores y necesidades sociales como la conservación del medio ambiente, la salud, la vida y la supervivencia. Es más, Kapp esboza y sugiere la aplicación de lo que actualmente se denomina el *principio de precaución*[3] insistiendo en que «... la necesidad de más información no es sinónimo del quedarse cruzados de brazos sin hacer nada hasta que se completen las investigaciones necesarias (...) En realidad (...) los costes de tomar medidas tempranas pueden justificarse ampliamente si se comparan con el coste social futuro que resultaría de retrasar la acción inmediata» (Kapp, 1966, 101-102). Aunque los valores sociales juegan un papel fundamental en el pensamiento y en la argumentación de Kapp, lo cierto es que, desde mi punto de vista, Kapp identifica estos valores de manera genérica, en términos de fundamentos para la existencia, requerimientos mínimos de la vida individual o las necesidades sociales, sin apenas profundizar en ellos, aunque sí dejando claro que la vida y la supervivencia humana no son bienes intercambiables y que su evaluación en función de los precios de mercado está en conflicto con la razón y la conciencia humana.

En cualquier caso, esta perspectiva «cientifista» de calcular y de obtener los indicadores ambientales es matizada en trabajos posteriores llegando a proponer la necesidad de *debatir políticamente sobre la construcción de los indicadores*. De hecho, Kapp reconoce que si bien «... la función principal de los indicadores ambientales y sociales consiste en evaluar la situación actual de las cosas en términos cuantitativos apropiados para los fenómenos que estudiamos (...) esto no significa que los indicadores ambientales y sociales no sean ambiguos con respecto a la información que proporcionan» (Kapp,

[3] En relación con el principio de precaución es recomendable el excelente trabajo de O'Riordan y Jordan (1995).

1973, 206). De hecho, existe el peligro de que la obsesión por los indicadores más o menos individualizados nos haga perder de vista que la calidad ambiental constituye una compleja totalidad que reacciona de manera acumulativa y sinérgica entre sí. Para evitar dicho peligro, «... el proceso de definir y evaluar los objetivos y las normas no puede dejarse ni en manos de los mercados ni en manos de los expertos sino que requiere una *participación política activa y una consulta a los ciudadanos* al margen del tradicional proceso de mercado en el que la demanda y la disposición a pagar se determinan necesariamente por la renta y la capacidad de pago» (Kapp, 1972, 241), (la cursiva es mía). En otras palabras, la fijación de las normas o estándares no es exclusivamente una cuestión técnica «... sino el resultado de una *evaluación sociopolítica* (reflejando) lo que una sociedad determinada considera requerimientos indispensables desde el punto de vista de las condiciones ecológicas, de la salud y la supervivencia humanas y de la reproducción social» (Kapp, 1972, 245), (la cursiva es mía). Se trata, en definitiva, de que las personas sean más activas políticamente, no en el sentido de los partidos, sino en el sentido de los problemas. Al mismo tiempo, la otra cuestión clave es la de incorporar los valores sociales en la toma de decisiones de manera que los valores y los criterios monetarios estén supeditados a esos valores sociales, de ahí la necesidad de un examen político que incorpore y asuma los valores sociales bajo la forma de objetivos socialmente deseables.

Nos enfrentamos, en consecuencia, a un conflicto entre intereses y valores derivado de la existencia de diferentes racionalidades. Para la racionalidad económica formal lo que cuenta son los intereses individuales y no los valores individuales ni los sociales, por eso, de acuerdo con esta racionalidad, la defensa de los valores sociales debe expresarse a través de la disposición a pagar. Por el contrario, para los institucionalistas, los valores sociales, tales como la continuidad de la vida humana, la reproducción no regresiva de la comunidad y la compatibilidad ambiental, constituyen el marco ético-cultural al que deben adaptarse las actividades económicas y las instituciones sociales. En definitiva, aunque con un menor refinamiento teórico que los institucionalistas actuales, lo que pretendió Kapp fue, precisamente, reconstruir una ciencia social de manera que fuese capaz de comprender su interdependencia inevitable con la biosfera. A modo de conclusión presento en el Cuadro 3 una aproximación a las cuestiones por las que se preocupa el enfoque institucionalista crítico en comparación con la economía convencional.

Cuadro 3. COMPARACIÓN DE ALGUNAS CARACTERÍSTICAS DE LA ECONOMÍA INSTITUCIONAL CRÍTICA Y DE LA ECONOMÍA CONVENCIONAL

Economía Institucional.	Economía Convencional.
Economía como sistema abierto.	Economía como sistema cerrado.
Sistema económico-social-ambiental.	«Lo económico» (producción e intercambio de mercancías).
Causación circular acumulativa (interdependencias).	Equilibrio-desequilibrio.
Racionalidad cultural depende del contexto.	Racionalidad económica individual.
¿Cómo se configuran las opciones? (Cambio institucional).	Comportamiento maximizador bajo opciones dadas.
Preocupación por el papel del conflicto y del poder en la vida económica y social.	Dispersión de poder.
Rechazo de los precios de mercado como indicadores únicos de bienestar individual y social.	Aceptación de los precios de mercado como expresión de las preferencias individuales y sociales.
Estudio de la generación y distribución de los costes y beneficios sociales.	Problemas de externalidades (ocasionales).
Eficiencia económica depende de la distribución (¿cuál es el punto de partida?)	Eficiencia económica es un objetivo que ignora el contexto social.
Explicitación y defensa de los valores sociales.	Los valores sociales cuentan en términos de la disposición (privada) a pagar por ellos.
Definición y evaluación de los objetivos y normas es un proceso social que requiere una participación política activa.	Definición y evaluación de los objetivos y normas es un proceso económico (A C-B).

Elaboración, F. Aguilera, siguiendo textos de KAPP (1968) y (1972) en AGUILERA, F. (ed.) Economía de los recursos naturales: un enfoque institucional. Fundación Argentaria - Visor distribuciones. Madrid (1995).

BIBLIOGRAFÍA

AGUILERA, F. (1991), «Economía del medio ambiente: notas para un estado de la cuestión», Cuadernos de economía, vol. 19, n.° 55, mayo-agosto, pp. 167-196.

AGUILERA, F. (ed.). Economía de los recursos naturales: un enfoque institucional. Textos de S. V. Ciriacy-Wantrup y K. W. Kapp. Fundación Argentaria y Visor Distribuciones. Madrid. 1995

AYRES, R. U. y KNEESE, A. V. (1969), «Production, Consumption and Externalities», *American Economic Review*, junio, pp. 282-297. Existe versión en castellano en Economía del Medio Ambiente, pp. 203-239, Gallego Gredilla J. A., IEF, Madrid, 1974.

BECK, U. (1991), «La irresponsabilidad organizada», *Debats*, No. 35-36.

BROMLEY, D. W. «Recursos y desarrollo económico: un enfoque institucionalista», *Agricultura y Sociedad*, N.° 35, pp. 49-75.

COASE, R. (1998), «The New Institutional Economics», *American Economic Review*, Papers and Proceedings, Mayo, pp. 72-74.

CIRIACY-WANTRUP, S. V. (1952), Resource Conservation: Economics and Policies. Berkeley: University of California Press. Existe traducción al castellano, realizada por el FCE. México. 1957. El capítulo sobre los estándares mínimos de seguridad se encuentra también en Aguilera (ed.) 1995.

HICKS, J. (1979), Causality in Economics. Basil Blackwell. Oxford.

HOWARD, V. (1997), «Synergistic Effects of Chemical Mixtures; Can we rely on Traditional Toxicology? *The Ecologist*, pp. 192-195. Vol. 27, N.° 5

KAPP, K. W., Los costes sociales de la empresa privada. Oikos-Tau, Barcelona. 1966.

KAPP, K. W. (1978), «El carácter de sistema abierto de la economía y sus implicaciones». En Aguilera F. y Alcántara V. (1994).

KAPP, K. W. (1968, 1970, 1972, 1973), todas las referencias se encuentran en Aguilera F. (ed.). 1995.

MARSHALL, A. (1879), «El agua como integrante de la riqueza nacional», en Obras escogidas. FCE. México. 1978

MEADOWS, D. (1996), «Más allá de los límites», pp. 57-72 de Ecología y Desarrollo, Francisco Díaz Pineda. Universidad Complutense. Madrid.

MISHAN, E. J., Los costes del desarrollo económico. Oikos-tau. Barcelona, 1971.

NORGAARD, R., Development Betrayed. Routledge. London. 1994.

O'RIORDAN, T. and JORDAN, A. (1995), «The Precautionary Principle in Contemporary Environmental Politics», *Environmental Values*, vol. 4, n.° 3, pp. 191-212.

SHIVA, V. (1990), «Desarrollo: El <Nuevo Colonialismo>». *Desarrollo*, N.° 16, pp. 77-79.

SHIVA, V. (1993), Monoculturales of the mind. Perspectives on Biodiversity and technology. Zed Books and Thirld World Network. London and Penang, Malasya.

CUANTIFICACIÓN Y TOMA DE DECISIONES

MARIANO VÁZQUEZ
Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid

Padre: ¡No! ¡No puedes sumarlas! ¡Podrías dividirlas o multiplicarlas! ¡Pero no puedes sumarlas!

Hija: ¿Y por qué no, papá?

Padre: Porque... ¡Porque no podríamos! No me extraña que no te guste la aritmética si no te enseñan estas cosas en el colegio... ¿Qué demonios te enseñan? ¿¡Para qué creerán los maestros que sirve la aritmética!?

Hija: ¿Y para qué sirve, papá?

Padre: La aritmética es un conjunto de trucos para pensar con claridad, y la única gracia que tiene es la claridad. Y para ser claros no puedes mezclarlo todo. La idea de dos naranjas es distinta de dos kilómetros. Y si las sumas, lo único que obtendrás es una bruma en tu cabeza.

GREGORY BATESON

Nuestros actuales problemas ecológicos habían sido previstos en el segundo despegue de la Revolución Industrial. Baste recordar que el actual desorden climático fue anticipado por J. Tyndal en 1861, y por muchos otros posteriormente (cf. Maunder, 1988: 72); recuérdense también las advertencias de Clausius (1885) acerca de la finitud de las reservas de combustibles minerales y de su inevitable (aunque futuro) agotamiento. ¿Cómo fue que los líderes de aquella sorprendente Revolución pudieron ignorar tales advertencias, sólidamente fundadas sobre leyes fundamentales (y simples) de la física? Conocemos razonablemente bien la respuesta: operando de forma exclusiva sobre la *medida monetaria* del valor[1], cualquier *decisión* acerca de distintas

[1] En lo que sigue, utilizaré la palabra «valor» aceptando su marcada y sesgada polisemia, fiel reflejo de su *única pseudomedida* a través del dinero. La polisemia ya existía en latín, donde valor significaba «precio», «cualidad», «utilidad»,... pero también «número» en el sentido aritmético más simple. En la última edición del Diccionario de la Real Academia puede rastrearse el sesgo impuesto por la valoración monetaria imperante: por sorprendente que parezca, bajo el vocablo «valor» ha desaparecido la acepción

alternativas (para llevar a cabo una empresa o resolver un problema) podía tomarse de modo «objetivo» mediante la simple comparación de los costes y beneficios correspondientes, descartando de antemano cualquier otra consideración. Existe una abundante literatura dedicada a desvelar por qué esa objetividad es sólo aparente, además de ser falaz (cf. Naredo, 1987). Baste decir aquí que la medida monetaria, al mezclar 'kilómetros' y 'naranjas' para constituir el *agregado monetario*, sólo produce una gran cantidad de 'bruma', capaz de desdibujar y, finalmente, ocultar tanto las advertencias de entonces como las de ahora. La incorrección aritmética de mezcla semejante deja claro que la unidad monetaria es una *pseudomagnitud*, y la disciplina que se ocupa de su medida, una *pseudociencia*: así ninguna unidad de cuenta monetaria figura en el Sistema Internacional de unidades (ni se espera que lo haga). Sin embargo, y a pesar de ello, la economía monetaria se ha aupado a la altura de otras ciencias cuantitativas en la cultura dominante, hasta el punto de constituirse en paradigma de todas ellas en los *media* (baste comprobar en cualquier periódico, el elevado cociente entre la fracción de valores monetarios y el total de valores numéricos). En definitiva, la medida monetaria ha servido (y sirve todavía) para construir un método reduccionista de *decisión*, con el que sólo se confrontan los intereses crematísticos de aquellos sectores sociales con poder suficiente para influir en la fijación de los precios (sus practicantes se suelen referir a este método con el sustantivo *mercado*). No puedo dejar de señalar la irónica situación en que queda el resto del cuerpo social: el sujeto en cuanto agente pecuniario queda convertido en un átomo instrumental y ciego de una confrontación que ni conoce ni le interesa, pero a la que no puede dejar de servir. Los *cálculos* de Clausius, Tyndal y los demás quedaron en situación pareja: narraciones desesperadas en un mar tormentoso, en el que no encontraron puerto de llegada. Del mismo modo, muchos de los hallazgos técnicos de los últimos doscientos años (que podrían habernos conducido a otra y muy distinta cultura técnica), aunque fruto de disciplinas cuantitativas por derecho propio, quedaron para vestir santos al no superar la prueba final en la evaluación de sus méritos, el análisis coste/beneficio (véase, por ejemplo, la historia de la energía solar, escrita por Butti & Perlin, 1980).

¿Qué hacer ante este panorama? Dejando aparte a los sectores sociales interesados en que la medida del valor quede como está, las distintas corrientes de la economía *antineoclásica* (agrupadas bajo distintas denominaciones tales como la de *economía ecológica*) se debaten entre una variada colección de formulaciones que intentan superar los problemas asociados a la medida monetaria y única del valor. Entre las más extremas se encuentra la negación

---

de «número», aunque para definir el vocablo «variable» el propio diccionario dice «Magnitud que puede tener un *valor* cualquiera de los comprendidos en un conjunto» (la cursiva es mía), haciendo uso de una acepción de «valor» que el propio Diccionario ignora. Esta última acepción, que por su generalidad, engloba casi todas las demás es la que emplearé en los contextos aritméticos del texto, adjetivada según corresponda. Paralelamente, «valor» también significará «utilidad», «cualidad», etc.

de toda posibilidad de medida. En particular, suspicaces ante la ciencia y la técnica contemporáneas, que han sido el bagaje instrumental imprescindible para el despliegue de la economía monetaria, algunos autores se afanan por definir una «nueva ciencia» capaz de afrontar las nuevas inquietudes, insolubles monetariamente, contraponiendo *calidad* a *cantidad* (cf. Funtowicz & Ravetz, 1997). Es en este debate en donde quisiera incidir, mostrando que la aritmética (en el sentido de Bateson) puede ayudar a bosquejar un panorama sensato en el que *distintas medidas* del valor podrían resultar útiles (aunque como veremos se trate de una utilidad limitada). Vaya por delante que existe otro debate paralelo, también muy interesante, sobre la incertidumbre y la naturaleza del conocimiento (cf. Georgescu-Roegen, 1971; Maturana y Varela, 1996) pero a mi entender se sitúa en un plano epistemológico del que podemos, provisionalmente, prescindir (aunque, como veremos, finalmente no lo podremos ignorar). Para esta labor será útil recordar brevemente el despliegue de la ciencia en los últimos siglos.

Después de que Newton diera al mundo sus leyes de la gravitación universal, sobrevino el problema de cómo 'resolver' las ecuaciones matemáticas en que tales leyes quedaban plasmadas, al considerar situaciones concretas y no triviales. De hecho, buena parte del desarrollo matemático del siglo XVIII tuvo como objetivo encontrar 'solución' para ese problema, que no es sino uno más de una clase muy general, la de optimación de soluciones. Esquemáticamente, todos ellos pueden describirse con un enunciado muy simple: «encuéntrese el valor de la variable que haga mínima (o máxima) una función que representa *matemáticamente* el problema». Por *función* debe entenderse aquí cualquier función computable (coloquialmente cualquier modelo calculable, incluso si para ello es imprescindible el concurso de una máquina de cálculo); por *variable* cualquier magnitud matemática con valores que puedan ser definidos y enumerados, por complicada que pudiera ser (cf. nota 1): coloquialmente corresponde (o representa) a las distintas configuraciones o estados de un sistema, o a las distintas soluciones de un problema (la variable puede ser un *vector*, es decir, una lista de números, variables a su vez). Dado un valor de la variable (representativo de una situación concreta), la función permite calcular una magnitud con la que *valorar cuantitativamente* algún atributo importante en el problema planteado. Por tanto, dar 'solución' a esa clase de problemas consiste en encontrar el valor 'óptimo' de la variable, aquel que corresponde al 'óptimo' valor de la función (mínimo o máximo): esa es la mejor de las soluciones[2]. El *método de optimación diferencial* fue uno de los grandes logros de las matemáticas de aquella época (muy relacionado con el conjunto de técnicas que hoy se denominan «cálculo infinitesimal».

[2] La distinción entre máximo y mínimo es arbitraria y poco significativa: el máximo de una función coincide con el mínimo de su inversa respecto de la suma aritmética: en términos monetarios, el máximo beneficio coincide con el mínimo coste. Es costumbre entender por «óptimo» el mínimo, sobreentendiéndose que el cálculo de máximos es similar.

Seré más explícito. Pensemos en una explotación minera como 'problema'[3]. Las distintas soluciones serían en este caso los distintos procedimientos por los que *una cierta cantidad* de mineral puede ser extraída. La función que representa el *atributo importante* en el problema puede ser, por ejemplo, la energía que es necesario gastar con cada uno de los procedimientos posibles, es decir, con cada uno de los valores de la variable de la función. El mejor de ellos es el que reduzca al mínimo esa energía. Si puede representarse mediante una función computable la relación entre cada procedimiento y la energía que requiere, el método de optimación diferencial de funciones permite *encontrar* el mejor procedimiento, la solución óptima al problema planteado[4]. Es fácil hoy explicar en qué consiste el método, al menos coloquialmente: piénsese en la superficie de la tierra, con sus valles y montañas, en una región no muy agreste, de pendientes suaves; si cada punto del territorio representara un procedimiento o solución posible y su altitud topográfica representara la cantidad de energía requerida, la superficie terrestre representaría la función matemática; la optimación diferencial consistiría en dejar caer una pelota desde un punto arbitrario y con impulso y habilidades suficientes como para que alcance el punto más bajo del territorio: el procedimiento que corresponda a ese punto sería la solución óptima buscada, y especificaría las particularidades concretas del procedimiento a emplear para extraer el mineral con un mínimo gasto de energía por unidad de masa.

Con este método, la resolubilidad de problemas se universalizó desde el momento en que se adoptó como función, como magnitud para valorar las soluciones para un problema dado, el coste monetario, al amparo de las teorías económicas clásica y neoclásica, con las consecuencias y errores que he indicado al principio.

Muchos de tales problemas, resueltos desde entonces, eran problemas con *verdadero* interés práctico (y no simples ejercicios); además su representación matemática cumplía las condiciones para resolverlos mediante la optimación diferencial. Creo que también aquí, en esta aparente posibilidad de resolver problemas de una manera objetiva, puede rastrearse el origen de la fe en el progreso técnico que dio vida al 'técnico' moderno, es decir, al arquitecto, al ingeniero ... tal y como hoy los conocemos. (Deben incluirse aquí, desde luego, todo tipo de técnicos o gestores Por mi parte me atrevería a incluir a los políticos profesionales si su labor depende de esa disciplina que se ha dado en llamar 'toma de decisiones', que no es más que una mala teo-

---

[3] He escogido este ejemplo, por haberse usado con frecuencia, cf. Kropotkin (1892: 122-123); sin embargo, un problema en apariencia tan simple y tan «frío» como el diseño 'ecológico' de una viga en un edificio presenta las mismas características que examinaremos a continuación.

[4] Para ello deben cumplirse algunas condiciones matemáticas muy exigentes que no viene al caso detallar, puesto que aunque pueden ser un formidable obstáculo práctico para obtener la solución buscada, no representan un escollo teórico de pareja importancia.

ría de optimación para problemas incompletamente formulados o groseramente resueltos. En todos los casos nos encontramos ante lo que Illich (1980) denominó «profesiones inhabilitantes»).

El desarrollo posterior de la teoría de optimación ha mostrado que, incluso en circunstancias tan simples como las enunciadas (una sola magnitud o función cuyo valor depende de una serie de soluciones) la mayoría de nuestros 'verdaderos' problemas caen fuera del alcance de la optimación diferencial. Corresponden a 'paisajes' agrestes e intrincados de la función matemática asociada, en los que la pelota puede quedar atrapada a media ladera, enredada en complejos objetos matemáticos, que pueden describirse apropiadamente como 'árboles', 'maleza' o 'piedras'; se trata en realidad de 'paisajes' muy familiares. (De hecho, las pendientes suaves son raras en la Naturaleza). Se han encontrado y descrito problemas que en la práctica no pueden resolverse exactamente (los denominados *intratables*), y también problemas irresolubles, incluso en teoría, los denominados *indecidibles* (cf. Garey y Johnson, 1979)[5]. Desafortunadamente, estas cuestiones, mucho más *técnicas,* han quedado en manos de un pequeño grupo de especialistas y *no han minado* aquella fe inicial en el progreso que se cimentó sobre los primeros pasos de una teoría en pañales. La *idea* de que nuestros problemas son 'técnicamente resolubles' ha quedado así intacta en las culturas industriales.

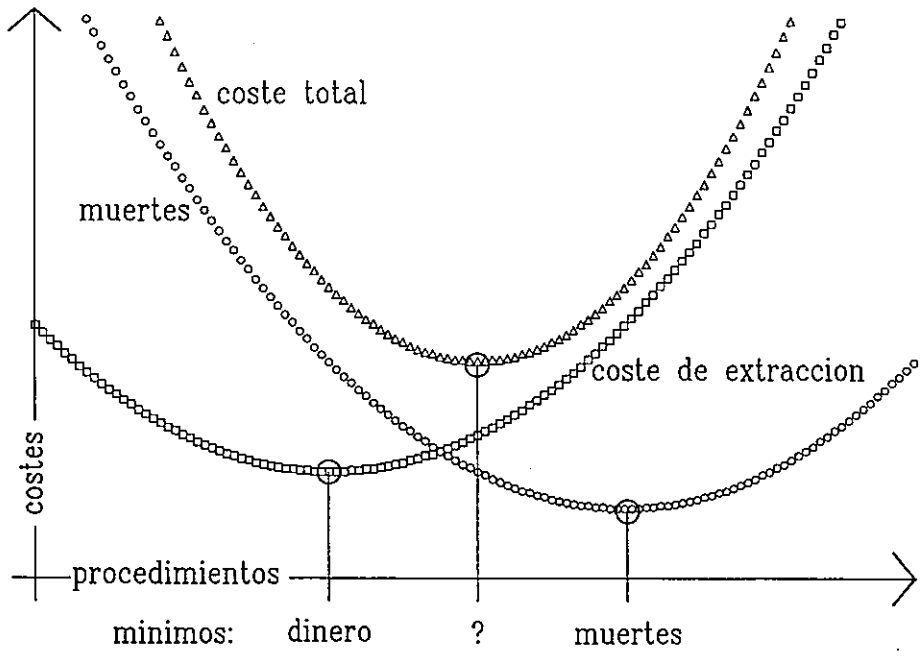
Pero hay un caso de *indecibilidad* mucho más simple y conocido desde antiguo. Volvamos a la explotación minera. Efectivamente la extracción del mineral tiene un coste cuya medida monetaria (en vez de energética) podemos aceptar (provisionalmente). Desafortunadamente, la dificultad del oficio de minero tiene como consecuencia la posibilidad cierta de la muerte de personas durante el laboreo. Existen buenas razones para *desear* reducir, mediante la elección de un procedimiento adecuado, *tanto* el coste monetario *como* el 'coste humano' (expresado por ejemplo en defunciones). Podemos incluso admitir que ambos costes (por unidad de mineral extraído) puedan expresarse matemáticamente de un modo razonable. Sin embargo, aquí ya no es posible aplicar la optimación diferencial clásica porque no tenemos *una* sino *dos* magnitudes que optimar.

---

[5] La gravitación universal de Newton es quizá el ejemplo más significativo. Las ecuaciones son *irresolubles* para tres o más cuerpos gravitantes. La consecuencia es quizá poco conocida: los cálculos astronómicos son, en un sentido preciso, *predicciones*, al igual que lo son las del «hombre del tiempo». Por supuesto, en el actual estado del Sistema Solar, las predicciones son tan exactas que no parecen tales. Sin embargo, aún nadie ha conseguido demostrar que se trate de un sistma no caótico: en el futuro podría ocurrir que las órbitas de nuestro planeta fueran tan poco predecibles como el tiempo atmosférico que hará dentro de una semana (cf. Lorenz, 1993: 113-122). Nótese que las ecuaciones de Newton resultan irresolubles a pesar de ser perfectamente deterministas, y de no contener ningún tipo de indeterminación.

Figura 1

EL ÓPTIMO DE LA SUMA NO ES LA 'SUMA' DE LOS ÓPTIMOS



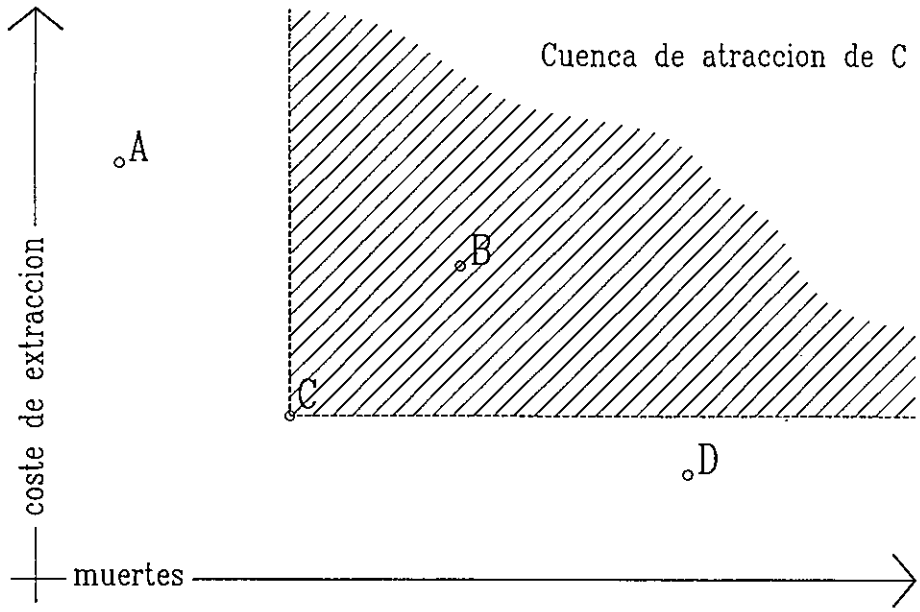
(Con esta afirmación, excluyo de antemano la posibilidad de que alguien proponga que valoremos el 'coste humano' en unidades monetarias, que sumemos ese 'coste' al coste que soporta el empresario y que hallemos la solución óptima para esa suma, es decir, el procedimiento de extracción que haga mínimo el coste total así calculado. Tal proceder, a parte de las consecuencias éticas de valorar en dinero la vida humana, ¡es matemáticamente incorrecto! El óptimo de la suma podría no coincidir (y en general no coincidirá) ni con el mínimo número de muertes ni con la máxima ganancia del propietario de la mina (mínimo coste monetario), véase la figura 1[6]. Nótese, sin

[6] Por supuesto, las gráficas dibujadas son puramente especulativas. Las reales, si es que pueden determinarse, serían más complicadas, pero esto no añadiría nada esencial a la cuestión. Sin embargo, merece la pena aclarar algunos detalles: en el eje de abscisas de la figura 1, el horizontal, se representan los procedimientos posibles *ordenados*, tal como se explica más adelante. Por supuesto, cada uno de ellos estará definido mediante variables escalares, tales como el tamaño de la explotación, la profundidad de la mina, número de empleados, etc. La gráfica dibujada sería más apropiada para mostrar la variación de la función con respecto a *una* de estas variables escalares en particular. De hecho, la representación completa de la función tendría que hacerse en un espacio geométrico con tantas dimensiones como variables esca-

embargo, que es *éste* el procedimiento habitual que emplea la técnica corriente, es decir, el empleado como evaluación final por aquellos 'técnicos' sin preocupación 'ecológica', pero de éstos no deseo ocuparme aquí.)

Figura 2

PROBLEMA DE OPTIMACIÓN VECTORIAL (DOS DIMENSIONES)



lares intervienen en la definición de un procedimiento particular, más una dimensión adicional para la propia función. Obviamente, tal representación es poco práctica si el número de variables es mayor que dos. Sin embargo, puesto que cada procedimiento no es más que una lista de valores, *siempre* puede ser representado como una ristra de ceros y unos de longitud apropiada mediante el uso de un sistema de codificación previamente convenido. De este modo, todos los procedimientos posibles, así representados, pueden ordenarse y, por tanto, construirse una figura como la 1. Ciertamente, vista así, la curva que representa la función sería, en general, enormemente más complicada que la forma simple dada en la figura, y el método de optimación diferencial difícilmente aplicable. Sin embargo, el problema tiene de todas maneras solución *teóricamente* mediante el método de *búsqueda exhaustiva* entre todas las ristras de ceros y unos que puedan codificar un procedimiento según el convenio de representación elegido. En consecuencia, todos estos detalles no tienen transcendencia en lo que se refiere a mi argumentación, y he preferido omitirlos para evitar complicaciones innecesarias. El lector o lectora interesada puede consultar los aspectos básicos de la teoría general de resolución de problemas en el brillante trabajo de Garey y Johnson (1979).

Podemos preguntarnos si *podría existir* otro procedimiento, menos limitado que la optimación diferencial, que permita encontrar el mejor procedimiento de extracción, aquél que haga mínimas las dos magnitudes que (de momento) modelan el problema de la extracción minera. La respuesta debe ser rotunda: «no». No existe procedimiento para optimar simultáneamente dos (o más) funciones por la simple razón de que no es posible, en tal caso, definir qué es lo mejor: el problema es *indecidible* en un sentido formal[7].

La demostración de la proposición anterior es extraordinariamente simple debido, entre otras cosas, a que se trata de una negación: basta con mostrar un caso en que sea cierta. ¡Veámoslo! Podemos representar cada uno de los dos costes sobre dos ejes cartesianos como en la figura 2. Cada solución, es decir, cada procedimiento de extracción imaginable viene representado por un punto del plano, determinado por el número de muertes y por el coste monetario (siempre por unidad de mineral extraído) asignados a ese procedimiento. Imaginemos que hemos ideado cuatro procedimientos de extracción, A, B, C y D, representados por otros cuatro puntos del plano en la figura 2. La cuestión ahora es ¿cuál de estos cuatro es el mejor?, ¿cuál es el óptimo de este pequeño conjunto de soluciones? Resulta claro que B es 'peor' procedimiento que C, puesto que ocasionaría más muertes entre las personas que trabajan en la mina y más costes monetarios al propietario. De hecho, la regla para identificar procedimientos peores es geométrica: la parte rayada de la figura es la cuenca de 'atracción' del procedimiento C, y cualquier procedimiento dentro de ella es un procedimiento 'peor' que el C. Pero puesto que ni A, ni C, ni D caen dentro de la cuenca de atracción de los otros dos, ninguno es 'peor' que los demás y, en consecuencia, ¡*no existe* uno que sea el 'mejor' de todos! Aunque pudimos descartar uno de los cuatro procedimientos propuestos inicialmente, no podemos matemáticamente decidirnos entre los tres restantes: el problema es *indecidible*. Demostrado que existe un problema de optimación bidimensional indecidible, el problema general, con un número cualquiera de costes a considerar, es *indecidible* técnicamente...

...salvo que pudiéramos encontrar un procedimiento con valor nulo para ambos costes. Sólo para este procedimiento especial (representado por el origen de coordenadas) la cuenca de atracción sería el espacio completo de todos los procedimientos imaginables, de manera que estaríamos seguros de que cualquier otro sería peor que aquél, que sería en consecuencia el mejor de todos. Afortunadamente o no, la segunda ley de la termodinámica, la ley de la entropía, prohíbe la existencia de tan deseado procedimiento de coste 'cero':

---

[7] Aunque las consecuencias de esta indecibilidad son las mismas que en el caso de una única función (como ocurría con las ecuaciones de Newton), su naturaleza es diferente, como lo es la de los propios problemas: la optimación unidimensional es irresoluble para un conjunto particular de problemas, mientras que, como veremos la optimación *multidimensional* o *vectorial* es irresoluble en general.

aquí topamos con los límites de la Naturaleza (aunque por supuesto quedamos dentro de Ella)[8].

Vemos pues que ante cualquier conjunto de alternativas, y para un juego de costes acordado de antemano, podemos clasificarlas en soluciones decididamente peores y soluciones no peores[9]. Para cada una de las primeras tenemos al menos *una alternativa mejor* entre las segundas. Pero ninguna de estas últimas es *objetivamente* mejor que sus compañeras, y en consecuencia no podemos caracterizar a ninguna de ellas como *la solución mejor*. Por claridad y brevedad me referiré a las primeras con 'estupideces', y con 'aciertos' a las segundas, pero debe quedar claro que ningún acierto es técnicamente superior. Desde luego seguimos limitados por un buen número de imprecisiones: las inherentes a los modelos matemáticos empleados en la representación del problema real son las más evidentes (y son aquellas que, si los intereses monetarios lo exigen, serán olvidadas o subrayadas, según convenga: ambas cosas pasaron, por ejemplo, en la reciente cumbre celebrada en Kioto sobre el cambio climático). Además, siempre quedará la duda de si habremos considerado todas las alternativas *posibles:* si alguien *crea* o *imagina* una nueva solución, será una estupidez o un acierto, pero en este último caso, además, puede ocurrir que alguno de los anteriores aciertos pase a integrar el repertorio de las estupideces. (En la figura 2, hasta que no contamos con la solución C, no podemos saber que B es una estupidez: a fin de cuentas, B *no es peor* que A o D).) Todas estas imprecisiones o limitaciones no empecen mi tesis principal, la inexistencia de una solución óptima por la que podamos decidirnos objetivamente. Pues, incluso si las eliminamos en nuestra imaginación, si nos concedemos una matemática y una física perfectas y el tiempo necesario para recrear todas las soluciones posibles, seguiremos por una parte contando con un conjunto irreducible de aciertos, entre los que no podemos, *por medio alguno,* evitar decidirnos *subjetivamente,* mientras que por la otra, habremos

---

[8] De los múltiples significados epistemológicos de la ley de la entropía, creo que éste tiene especial relevancia para el actual momento histórico. Aunque dicha ley debe ser considerada como una de las leyes fundamentales de la Naturaleza, un halo de misterio la envuelve. Parte de ese halo proviene del hecho de que, con más claridad que ninguna otra ley de la mecánica, enuncia simplemente una prohibición. Como no cabe aquí más que resaltar su importancia, el lector o lectora puede consultar la detallada discusión que realizó sobre ella Georgescu-Roegen (1971). Merece la pena resaltar que, en el fondo, las leyes de la mecánica clásica deben entenderse como la descripción de *lo que no puede ocurrir*, con independencia de lo que hagamos o imaginemos (cf. Shockley & Gong, 1973). De manera que resulta admirable que la economía monetaria, copiando malamente el esqueleto aritmético de la mecánica, haya podido construir la *ilusión* de una disciplina capaz de prometer que *pueda ocurrir cualquier cosa* que queramos o imaginemos, aunque hábilmente la promesa es siempre para el futuro (uno que nunca acaba de llegar).

[9] Este último conjunto de soluciones se asemeja al conjunto conocido como *óptimos de Pareto,* en honor del economista italiano que los estudió en el contexto de la economía monetaria, en un admirable esfuerzo por desprenderse de la *pseudomedida* del agregado monetario, véase Naredo, 1987: 320-326. Los teóricos posteriores consiguieron falsificar sus aportaciones, aún proclamándose sus herederos, y reintroducir por la puerta pequeña todo aquello que Pareto intentó superar, véase también Passet, 1996. Sin embargo, la definición que daré después es más general que la dada por Parteo, y pone al descubierto nuevos aspectos del problema de optimación multidimensional.

identificado todas las posibles estupideces, de manera que *objetivamente* podremos ponernos a salvo de hacer el imbécil.

No tengo una 'demostración' inexpugnable para esta última proposición. Pero puedo sugerir dos argumentos 'fuertes'. En primer lugar, el segundo principio de la termodinámica, según la interpretación que sugerí antes, asegura con certeza razonable que el conjunto de los aciertos no se reducirá a uno. El segundo argumento tiene que ver con la evolución biológica. Cien años haciendo publicidad del lema 'la supervivencia del *mejor* adaptado' no han conseguido ocultar el hecho, subrayado por el propio Darwin, de que la 'mejor adaptación' es tan sólo un metáfora práctica y conveniente, en modo alguno una Verdad o una Ley (cf. Maturana y Varela, 1996). Tras millones de años de evolución sigue sin aparecer *el mejor* cazador, o *el mejor* hervíboro. Por el contrario, la visión de la vida como un innumerable y diverso conjunto de aciertos, destinados a ser convertidos en estupideces por la aparición de otros nuevos al cabo del tiempo, resulta ser más conveniente y útil para guiar nuestro breve paso por el planeta que el modelo, más divulgado, de la vida como el triunfo de *lo mejor*[10]. (Recuérdese que prácticamente lo único que puede afirmarse con certeza sobre cualquier especie biológica es que acabará desapareciendo, del mismo modo que acaban por morir cada uno de los individuos que las forman).

Desde luego seguiremos explotando minas (y haciendo muchas otras cosas comparables), así que debemos concluir que *tiene* que existir algún otro procedimiento de decisión. Y de hecho la historia y la imaginación muestran que hay muchos posibles, pero todos ellos caen *fuera* de la objetividad técnica y científica (y, en particular, del *determinismo*). En mi opinión sólo hay un procedimienlo éticamente deseable: volviendo al ejemplo de la explotación minera, las personas que arriesgan sus vidas y su dinero (supuesto que tengamos que reconocer algún valor a este último, y de momento parece que no nos queda otro remedio) deberían sentarse, discutir y *decidir*. Es la gente involucrada en el proceso la que autónomamente debe decidirse por un procedimiento (o quizás ninguno y cambiar de actividad en sus vidas)[11]. Aunque esta opinión no sea compartida, hay algunas conclu-

---

[10] La presente discusión tiene conexiones más que evidentes con la crítica de la «teoría sintética» del neodarwinismo, una teoría todavía muy popular. En este orden, la argumentación precedente ha sido empleada punto por punto por Koestler (1977: 221-225): «Es una falacia harto frecuente entre los evolucionistas [neodarwinistas] confundir el proceso de *eliminación*, de los no aptos con el proceso de *evolución* hacia un ideal indefinible de la 'aptitud'». En el mismo sentido, véase Kauffman (1993). Quizás el nexo común entre éstas y otras disciplinas haya que buscarlo en la *novedad*, en la *invención*: por ejemplo, en la mecánica de sólidos (un área poco sospechosa de albergar complicaciones e incertidumbres) surgen problemas semejantes en cuanto se considera el *diseño* de nuevos y mejores artefactos, cf. Vázquez, 1997a.

[11] Uno de los puntos de partida para la tesis que aquí expongo, fue el análisis detallado de tres casos reales, en los que la *autonomía* y la *autoafirmación* de una comunidad frente a su entorno hacían la *diferencia* en lo que respecta a la sostenibilidad de un proceso en el tiempo, véase Vázquez, 1997b. En este orden, la tesis de Koestler (1977) acerca de la *tendencia hacia la integración* como origen de la casi totalidad de las barbaridades cometidas por nuestra especie cuenta con mis simpatías.

siones que pueden extraerse de lo expuesto, y que razonablemente no pueden considerarse materia de opinión.

La definición técnica de 'acierto', de solución no-peor, es autorreferenciada: un acierto lo es si puede demostrarse que no cae en la cuenca de atracción de ningún otro acierto. De suerte que sólo cuando hemos encontrado *todos* los aciertos posibles podemos cerciorarnos de que efectivamente lo son. La definición técnica de estupidez no es simétrica: desde el momento en que una posible solución o alternativa cae en la cuenca de atracción de otra sabemos que la primera es una estupidez, desde ahora y *para siempre*[12]. Vemos pues que existe una incertidumbre intrínseca respecto a los aciertos, paralela a una certeza clara respecto a las estupideces (siempre y cuando el conjunto de costes o dimensiones considerados en el problema no cambie, véase más adelante las consecuencias de alterarlo). En consecuencia existe una incertidumbre subyacente en lo que se refiere a los aciertos, una incertidumbre que razonablemente no podemos esperar eliminar, debido a que la innovación a través de la combinación (cf. Georgescu-Roegen, 1971) promete una práctica infinidad de alternativas posibles que sólo con tiempo prácticamente infinito podríamos aspirar a explorar en su totalidad: no sólo no podemos definir *lo mejor* ahora, ni siquiera podemos tener certeza de *acertar* en el presente. A lo más, en ocasiones, podremos vislumbrar las *estupideces* pasadas o futuras. De ahí que la razón no pueda ser traída a colación como justificación ante el futuro: nuestras justificaciones han de apoyarse en nuestras propias emociones subjetivas: incluso cuando creemos demostrar algo mediante el razonamiento, en realidad sólo tenemos la certeza de que lo queremos (Maturana, 1995)[13].

Al advertir la existencia de esa incertidumbre intrínseca en cualquier conjunto de valoraciones, podemos vernos tentados por un pesimismo negativo: puesto que todo es incierto e impreciso, ¿para qué medir, valorar, sopesar? Tal actitud ignoraría que si hemos conseguido apreciar esa incertidumbre es gracias no sólo a la *medida*, sino al análisis de las consecuencias que el *medir* tiene. Esa incertidumbre (para bien o para mal) es resultado de nuestras *medidas*, de esa continua interrogación de la Naturaleza. Resulta difícil ver cómo podríamos prescindir, ahora, de ninguna de ellas. Además, conviene distinguir de manera exquisita entre las distintas incertidumbres e imprecisiones con las que nos hemos encontrado. En primer lugar tenemos la imprecisión de la medida, cuya incertidumbre puede acotarse e incluso disminuirse a través de instrumentos matemáticos bien conocidos (teoría de los errores), siempre y cuando estemos dispuestos a «pagar» el esfuerzo adicional necesario a la hora de *medir*. En general, pues, nuestros modelos de medida son analíticos, operan con simplificaciones asumidas, pero no es ésta una cuestión crucial (cf.

[12] Es incluso técnicamente posible ordenar parcialmente las estupideces en una jerarquía graduada, pero se trata de un detalle técnico sin especial relevancia para mis propósitos aquí.

[13] Los conflictos subyacentes a la *decisión* y al *dinero* han sido recientemente narrados de forma hermosa e inquietante por Gopegui (1998).

Koestler, 1977: 44; Stengers, 1983). Además, esta imprecisión de la medida carece prácticamente de importancia en muchos fenómenos de la vida cotidiana, aquellos modelados razonablemente bien por la mecánica clásica: la cantidad de sustancia contenida en un recinto, la energía que nos llega del Sol, etc., son magnitudes inequívocamente medibles y están sujetas a reglas razonablemente deterministas[14]. En segundo lugar tenemos la incertidumbre de la decisión entre alternativas o aciertos que no pueden ser *ordenados* de «peor a mejor», precisamente porque su valoración es multidimensional y porque las distintas dimensiones son irreducibles e incomparables entre sí: esta incertidumbre, insisto en ello una vez más, *no desaparece* incluso si nuestras medidas son *exactas*, y por tanto *nada tiene que ver con que no lo sean*. En este contexto, la economía monetaria en tanto disciplina cuantitativa, con su panoplia de supuestos métodos de «optimización», sus premios «Nobel», sus publicaciones llenas de guarismos, debe entenderse como un monumental proyecto de *ocultar la incertidumbre de la decisión*, fundado en la simple regla de reducir a *moneda* magnitudes irreducibles en su propia medida. Mi rechazo de esta *pseudociencia* no tiene nada que ver con lo impreciso de sus *pseudomedidas*, sino con lo ilusorio de sus certezas. (Este género de reduccionismo se encuentra en otras muchas disciplinas, siempre que una magnitud se alza por encima del resto, convirtiéndose en vara de medir, determinar y decidir).

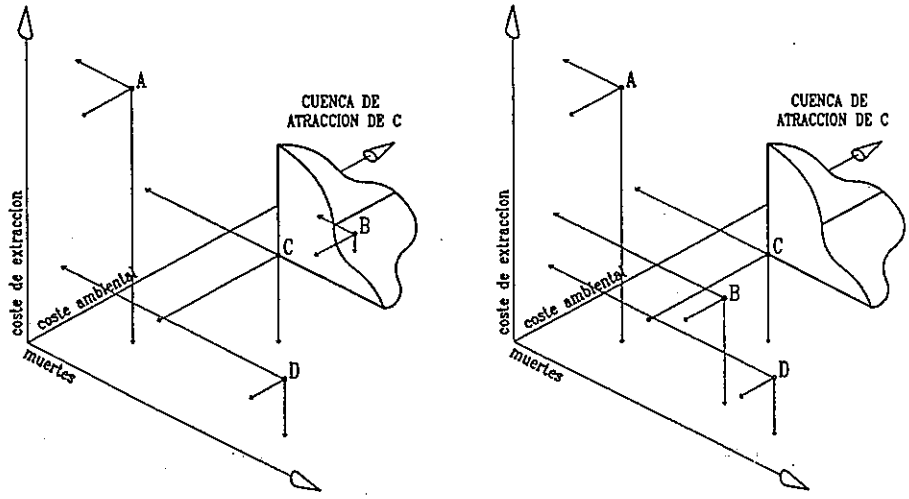
La incertidumbre de la decisión puede ayudar a matizar la idea «única» de *progreso*. Mientras que la economía monetaria ha fabricado un concepto de progreso con metas definidas y medibles (vía el crecimiento económico o cualquiera de sus disfraces, como el de *desarrollo sostenible*, véase Naredo, 1996), la incertidumbre de la decisión nos deja en la misma situación que al resto de los seres vivos: el progreso se reduce al del conocimiento y al de la acción del sujeto decidiendo, valga decir, viviendo. Pero no tiene una meta cierta a la que dirigirse, mucho menos existe una vara con la que objetivamente medirlo. Sólo el sentimiento que el sujeto experimenta puede avisarle de si progresa en el despliegue de sus decisiones, en la asunción de sus incertidumbres y de sus riesgos. En vez de un progreso de vía única, nos encontramos con que sólo la experiencia de nuevas y *diversas* alternativas nos permitirá engrosar el número de estupideces conocidas, aumentando nuestra certeza sobre posibles aciertos: la diversidad cultural cumple el mismo papel que la diversidad biológica en la evolución de las especies...

---

[14] El principio de imprecisión de Heisenberg no puede invocarse aquí para afirmar de forma banal que todo es impreciso, del mismo modo que sacar, de la teoría de la relatividad, la consecuencia de que «todo es relativo» es una operación intensamente sospechosa, aunque sea más frecuente de lo que cabría esperar. Las medidas están asociadas a los instrumentos que empleamos para realizarlas, y sus imperfecciones concretas y la influencia del observador son complejidades que el medir tiene, no su negación. La única negación clara de la medida es, por el contrario, la carencia de instrumentos para hacerla, tal y como ocurre con la *pseudomagnitud* monetaria. Por supuesto, además existen valores *dialécticos* en el sentido de Georgescu-Roegen (1971), que ni siquiera admiten una cuantificación consistente y su carácter cualitativo debe prevalecer. Aquí no es posible ya ninguna medida, mucho menos la pseudomedida monetaria.

Figura 3

PROBLEMA DE OPTIMACIÓN VECTORIAL (TRES DIMENSIONES).
«B» ES PEOR QUE «C» EN EL CASO DE LA IZQUIERDA,
PERO LA CUESTIÓN ES INDECIDIBLE EN EL DE LA DERECHA



En lo que se refiere a la posible *solución* técnica de la actual encrucijada ecológica, resulta evidente que la técnica no puede considerarse una disciplina cerrada dentro de un peculiar universo de valores, dentro del cual los problemas pueden resolverse de forma independiente (ése es también el caso de la economía aunque normalmente se la considere de este modo). Los técnicos en el sentido moderno pueden como hemos visto tener un papel (necesario pero limitado) en el proceso subjetivo de decisión: identificar y descartar aquellas soluciones *decididamente* peores[15]. Esta parte del proceso puede considerarse racional u objetiva en el sentido corriente del término: hay cosas que son como son, y ninguna voluntad puede alterarlas. En este terreno las ciencias de la Naturaleza están llamadas a jugar un importante papel, *a condición* de reconocer sus límites. Un papel que podría contribuir significativamente a la *conciencia activa* de las personas involucradas en el proceso global de decisión, que así considerado es, en realidad, un proceso evolutivo, no reducible ni explicable por el pensamiento racional estándar. Pero aún para esta humilde contribución las condiciones son muy exigentes: incluso las *dimen-*

[15] Este es el papel que están jugando los grupos ecologistas más inteligentes, y por ello tienen algún éxito cuando critican políticas públicas o privadas *decididamente* peores, es decir, estúpidas a la hora de alcanzar los objetivos públicamente declarados (aunque hay que suponer que se trata de políticas inteligentes para defender los intereses de quienes las promueven).

siones que han de intervenir en la evaluación de las distintas soluciones deben ser decididas *autónomamente* por la gente, y deben serlo *antes* de que la técnica ponga manos a la obra en busca de soluciones decididamente 'peores' y por tanto descartables. De lo contrario podrían explorarse *dimensiones distintas* de aquellas que la gente desea o valora[16]. El ejemplo de la explotación minera tenía, hasta ahora, dos dimensiones, pero podría tener más. Y al considerar una tercera, el procedimiento anteriormente descartado por estúpido, el B, podría o no seguir cayendo en la cuenca de atracción de C, tal como se muestra en la figura 3. En consecuencia, el procedimiento B podría o no ser eliminado, según sea su coste para la nueva dimensión ahora considerada. De este modo, la «aparición» de una nueva dimensión puede provocar una «revolución» en el paisaje de estupideces y aciertos, aunque, una vez más, no se trata de una «revolución» totalmente desordenada que pueda trastocarlo todo: los antiguos aciertos seguirán siéndolo, a los que se unirán algunas antiguas estupideces que dejarán de serlo. Se trata, en consecuencia, de un *aumento* de la diversidad de las alternativas[17].

En todo caso, una vez puesta al descubierto la falacia oculta tras la medida única del *agregado monetario*, la necesidad de medir y cuantificar no sólo no desaparece, ¡se multiplica! Pues las distintas magnitudes que quedaron mezcladas en las «cuentas» monetarias, deben evaluarse ahora por separado, deben salir a la luz. La cuestión crucial no radica en el estatuto epistemológico de la «cantidad», sino en el estatuto sociológico de las distintas disciplinas cuantitativas: las ciencias cuantitativas deben reivindicar la naturaleza irreducible de sus propias «cuentas», desembarazándose de una vez y para siempre de la prueba final sobre el coste/beneficio; la economía monetaria, por su parte, debería quedar arrinconada entre las supersticiones, o como mucho, entre las axiologías subjetivas, por más que el impulso neoliberal pueda convertirla en una axiología muy popular (estatuto ocupado de vez en cuando por distintas religiones, pero también por otro tipo de creencias), pues la popularidad de un sistema de valores ni quita ni pone a la naturaleza de su carácter, sea este subjetivo u objetivo. En cualquier caso, como tal axiología subjetiva, todos los esfuerzos dedicados a su *pseudocuantificación* bien podrían dedicarse a otras empresas que fueran de algún provecho.

Muchas de las disciplinas científicas cuantitativas, especializadas en la *medida* de tal o cual magnitud, pueden seguir su «progreso» como hasta ahora: mejorando sus «mundos» y reduciendo la *imprecisión de sus medidas*.

---

[16] La actitud de los congresos internacionales de arquitectura moderna (CIAM) en los años treinta condujo, precisamente, a esta indeseable situación, véanse las ponencias presentadas por Le Corbusier o Gropius, por ejemplo (cf. Aymonino, 1973: 211-243; Fathy, 1969: 29). Desafortunadamente, éste es el erróneo camino elegido por muchos grupos ecologistas al diseñar sus *alternativas*.

[17] De ahí la importancia de atesorar el conocimiento... incluso de las estupideces. Por otra parte, los antiguos aciertos sólo pueden ser eliminados *suprimiendo* dimensiones antiguamente consideradas. El imbécil movimiento hacia la globalidad monetaria elimina así las culturas vernáculas, al sustituir antiguas dimensiones por una sola: el dinero.

Pero, para la construcción de un 'mapa' de estupideces y aciertos, hace falta una comunicación intensa entre ellas, no para reducir sus resultados a un inexistente denominador común, sino para evitar una decisión reduccionista, unidimensional, fundada en exclusiva en cada magnitud medida: la tan traída y llevada multi- o transdisciplinaridad podría plasmarse así en algo concreto, en la posibilidad de contextualizar cada valoración a la vista del resto.

La conclusión en lo que se refiere a la gente creo que es también muy evidente: si la población no *lidera* el proceso de transformación ecológica de sus ciudades y territorios, tal proceso es inviable, pues no existirá en tal caso definición técnica que pueda sustituir la decisión colectiva acerca de aquello que «es» 'ecológico'. Desde luego, el ejercicio de la responsabilidad de la decisión por la gente no puede significar la negación del conocimiento científico y técnico, pues resulta difícil ver cómo se podría ser *responsable* antes de haber trazado el 'mapa' que identifique las soluciones no-peores, que constituyen los posibles aciertos para una decisión responsable. Sin embargo, creo que queda claro qué aspectos del proceso caen dentro del ámbito de la 'gestión técnica' y cuáles otros en el de la 'responsabilidad de la población'. Esta distinción es básica por muchos motivos: permite descubrir, por ejemplo, que muchos de los discursos autodenominados técnicos son en realidad discursos políticos, pero también al revés: así, y mediante este mecanismo de confusión, los intereses dominantes intentan escapar al control de los dominados, situando las discusiones en un terreno que no les corresponde, siempre que pueden. Sin embargo, la única forma de hacer compatible la racionalidad de la gestión con la ética de la responsabilidad es mantener la *diferencia* entre ambas partes del proceso de decisión, tanto en lo que se refiere a los métodos como a los agentes involucrados. Dado que la decisión es subjetiva en sentido literal (es llevada a cabo por sujetos), no puedo simpatizar con la idea de construir una nueva ciencia que gestione la incertidumbre de la decisión (tal y como se propone la ciencia «postnormal» de Funtowicz & Ravetz, 1997): si «ciencia» va a seguir refiriéndose a la construcción de mundos «objetivos» (en el sentido de Maturana y Varela, 1996: 22-24), puede que efectivamente necesitemos nuevos desarrollos científicos para tal o cual asunto o fenómeno, pero ninguna nueva ciencia podrá remplazar la siempre presente acción política de los sujetos, salvo que se trate de algo distinto de lo que se entiende por esa ciencia *normal* y pretendidamente *objetiva*. En este sentido vienen apuntando las propuestas de Funtowicz y Ravetz (1990) de hacer una nueva *ciencia postnormal* o, como aclara el subtítulo de uno de sus trabajos, de hacer *ciencia con la gente*. Propuesta que no debería de confundirse con aquellas otras de seguir buscando nuevos desarrollos científicos destinados a reemplazar a una vieja y cansada economía neoclásica en su principal función: dejar la decisión para unos pocos.

Debe quedar claro, por tanto, que el liderazgo de la población es mucho más que el fácil recurso a la participación popular, entendida como colaboración con los técnicos, que resultarían así mejor informados y podrían, *apa-*

rentemente, decidir de forma más apropiada[18]. A fin de cuentas es la *decisión en sí misma* la que es fuente de poder y de información, de control sobre el propio futuro y el del rededor, es la decisión la que *hace la diferencia*. Si esa decisión es delegada en otro, tarde o temprano la gente acaba enajenada de sí (cf. Fathy, 1969: 22-23; Maturana, 1995). A fin de cuentas, no podemos seguir ignorando que la ecología de las sociedades humanas *es* la evolución de sus conciencias[19].

[18] En este sentido, un claro ejemplo de participación popular insuficiente es la partitocracia instaurada en las autodenominadas democracias de los países 'occidentales', cf. Fernández (1996:167) y Ovejero (1996).

[19] Muchos autores, especialmente anarquistas, han reflexionado sobre estos asuntos desde el siglo XIX o incluso antes (recuérdese el *Discours de la servitude volontaire* de Etienne de la Boëtie, ca. 1576). Estas ideas surgieron en sus escritos desde una perspectiva filosófica, pero desafortunadamente fueron rechazadas por ello desde la perspectiva científica estándar. Sin embargo, en nuestros días comienzan a encontrarse evidencias de su verdadero valor desde una perspectiva matemática y formal. Véase, por ejemplo, Kauffman (1993).

BIBLIOGRAFÍA

AYMONINO, Carlo (1973), *La vivienda racional*. Barcelona: Gustavo Gili.

BUTTI, Ken & John PERLIN (1980), *A golden thread*. (Se cita la versión castellana: *Un hilo dorado*. Madrid: Blume, 1985).

CLAUSIUS, Rudolf (1885), *Ueber die Energievorräthe der Natur und ihre Verwerthung zum der Menschheit*. Bonn: Verlag von Max Cohen *et* Sohn. [*Sobre las reservas de energía de la naturaleza y su valoración para uso de la humanidad*].

FATHY, Hassan (1969), *Gourna: a Tale of two Villages*. Cairo: Ministry of Culture. (Se cita la segunda edición egipcia: *Architecture for the Poor*. Cairo: The American University in Cairo Press, 1989).

FERNÁNDEZ DURAN, Ramón (1996), *Contra la Europa del Capital y la globalización económica*. Madrid: Talasa Ediciones.

FUNTOWICZ, Silvio; y RAVETZ, Jerry (1997), «Post Normal Science and Ecological Economics». *ESEE Newsletter*, n.º 2, pp. 2-3.

GAREY, Michael R. y JOHNSON, David S. (1979), *Computers and Intractability*. New York: Freeman. (Se cita el *update* de 1991, que incluye una adenda con los descubrimientos acontecidos desde la edición original).

GEORGESCU-ROEGEN, Nicholas (1971), *The Entropy Law and the Economic Process*. s.c.: Harvard University Press (Hay tr. castellana: *La Ley de la Entropía y el proceso económico*. Madrid: Fundación Argentaria - Visor, 1996).

GOPEGUI, Belen (1998), *La conquista del aire*. Barcelona: Anagrama.

ILLICH, Ivan (1980), «Vernacular values», en *The Schumacher Lectures*. Bideford (Devon): The Schumacher Society (tr. castellana: *Para Schumacher*. Madrid: Blume, 1981).

KAUFFMAN, Stuart A. (1993), *The Origins of Order*. New York: Oxford University Press.

KOESTLER, Arthur (1977), *Janus*. s.d. (Se cita la tr. castellana: *Jano*. Madrid: Debate, 1981).

KROPOTKIN, P. (1892), *La conquista del pan*. s.d. (se cita la edición castellana de Júcar, Madrid, 1977).

LORENZ, Edward N. (1993), *The Essence of Chaos*. University of Washington Press. (Se cita la tr. castellana: *La esencia del caos*. Madrid: Debate, 1995).

MATURANA, Humberto (1995), *La democracia es una obra de arte*. Bogotá: Cooperativa Editorial Magisterio.

MATURANA, Humberto; y VARELA, Francisco (1996), *El árbol del conocimiento*. Madrid: Editorial Debate.

MAUNDER, W. J. (1988), *The human impact of climate uncertainty*. London: Routledge.

NAREDO, José Manuel (1987), *La economía en evolución*. Madrid: Siglo XXI, 1987

NAREDO, José Manuel (1996), «Sobre el origen, el uso y el contenido del término sostenible», en *Ciudades para un futuro más sostenible*, Arias, Velázquez y Nicolás (eds). Madrid: Ministerio de Obras Públicas y Medio Ambiente [ahora también en Internet: http://habitat.aq.upm.es/cs/p2].

OVEJERO LUCAS, Félix (1996), «La insensibilidad ecológica de la democracia» en *El Viejo Topo*, n.º 97, pp. 32-36.

PASSET, René (1996), *Principios de bioeconomía*. Madrid: Fundación Argentaria - Visor.

STENGERS, Isabelle (1983), «Tortugas hacia abajo...» *Archipiélago*, n.º 13, pp. 14-26, 1993; (tr. castellana de un texto francés de 1983).

SHOCKLEY, W. & GONG, W. A. (1973), *Mechanics*. Columbus: Charles E. Merril Books, Inc.

VÁZQUEZ ESPÍ, Mariano (1997a), «Sobre la enseñanza y la práctica de la teoría de estructuras.» *Informes de la construcción*, número 449.

VÁZQUEZ ESPÍ, Mariano (1997b), «Los límites de la técnica». *Boletín de la Biblioteca Ciudades para un futuro más sostenible*, número 3 (http://habitat.aq.upm.es/boletin/n3).

EL METABOLISMO DE LA SOCIEDAD INDUSTRIAL Y SU INCIDENCIA PLANETARIA*

JOSÉ MANUEL NAREDO
Universidad Complutense y Universidad Politécnica de Madrid

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 *Manifiesto 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 Helen Brudlandt 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

---

* Una primera versión de este texto fue presentada al Congreso Mundial de Economía Ecológica celebrado en Santiado de Chile en noviembre de 1998.

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 económica genera en la actualidad[1]. 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)[2] subrayé que dicha reconversión necesitaba apoyarse en un enfoque *ecointegrador* que abriera la reflexión económica hacia el mundo físico, más allá del valor, 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[3], 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 70, 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 creci-

---

[1] NAREDO, J. M. (1998), «Sobre la función mixtificadora del pensamiento económico dominante», que introduce la *carpeta* titulada «Entre las ruinas de la economía», *Archipiélago*, n.º 33, III, 1998.

[2] NAREDO, J. M. (1987, Reed. 1996), *La economía en evolución*, Madrid, siglo XIX eds.

[3] Entre esta aplicaciones cabe citar: NAREDO, J. M. y GAVIRIA, M. (dirs.) (1978) *Extremadura saqueada. Recursos naturales y autonomía regional*, París, Ruedo Ibérico y Barcelona, Ibérica de Eds. y Public.; NAREDO, J. y CAMPOS, P. (1980), «Los balances energéticos de la agricultura española», *Agricultura y Sociedad*, n.º 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*, n.º 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-Prensa 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 Argentaria y Visor Distrib.; NAREDO, J. M. (1996), *La burbuja inmobiliario financiera en la coyuntura económica reciente (1985-1995)*, Madrid, siglo XXI eds.

miento, subrayando su inviabilidad física global, se le ha devuelto credibilidad buscando hacerla «sostenible»[4].

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 fisicoenergéticos 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[5] 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 contaminación, que acabó asumiendo a veces posiciones preventivas y refiriendo 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»)[6] 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»[7], como reza el título del libro de Ayres, R. U. y

---

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

[5] En el texto sobre «La evolución reciente del pensamiento económico» que prologa la 2.ª 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».

[6] TAGUCHI, G.; ELSAYED, A. y SIANG, T. H. (1998), *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.

[7] Sobre la convergencia de esta línea de trabajo vease ALLEN, D. T. y ROSSELOT, K. S. (1994), «Pollution prevention at the macro scale: flows of wastes, industrial ecology and life cycle analysis», *Waste Mangement*, Vol. 14, Nos. 3-4.

L. W. (1996)[8]; 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[9]; y hacia la incidencia territorial[10]. 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[11].

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[12]. Esta es la hora que, a pesar de las cre-

---

[8] AYRES, R. U. y AYRES, L. W. (1996), *Industrial Ecology. Towards closing the materials cycle,* Edward Elgar Publishing, Cheltenham UK y Northampton USA.

[9] Como síntesis de estos enfoques cabe destacar la publicación de ADRIAANSE, A. et alt. (1997), *Resource flows: The material basis of industrial economies,* World Resources Institute (USA), Wuppertal Institute (Germany), Netherlands Ministry of Housing, Spacial Planning and Environment Netherlands), National Institute for Environmental Studies (Japan), con estudios referentes a Alemania, Holanda, Estados Unidos y Japón. Merce especial interés también, en esta línea el trabajo, 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.º 10, pp. 61-85, referido a Austria.

[10] WACKERNAGEL, M. y REES, W. (1995), *Our ecological footprint: Reducing human impact on Earth,* Philadephia, New Society Publishers.

[11] 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 Estrucutal 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 Vancuover, 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» *(environmetal 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).

[12] 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 h acer 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, cuyos planteamientos son tan genéricos que le dan un carácter meramente orientativo y no el de un

cientes preocupaciones por la conservación del patrimonio natural, disponemos de datos tan extremadamente incompletos y heterogéneos, que apenas 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[13] y sus secuelas, ya que difícilmente podía imaginar los deterioros ocasionados por las potentes intervenciones extractivas y contaminantes que puso en marcha 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 80 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[14]. 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

---

manuel 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.

[13] «Lo que ahora subsiste, comparado con lo que existía, decía Platon, es como el esqueleto de un enfermo, pues toda la tierra pingüe y blanda se ha consumido y solamente quedan los huesos desnudos...» Ref. GLACKEN, 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 Sebal, p. 139.

[14] NAREDO, J. M. y VALERO, A. (Dirs.) (1999), *Desarrollo económico y deterioro ecológico*, Madrid, Fundación Argentaria y Visor Distrib.

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 movilizan la sociedad industrial

En el trabajo citado que sirve de base a esta ponencia se han 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. 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 todos 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 las 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, analizada en el segundo apartado de este capítulo. Recordemos ahora que las cantidades de agua y aire utilizados en la Tierra se cifran en billones (10^{12}) de toneladas, mientras que las extracciones producto de la fotosíntesis y de la corteza terrestre se cifran en miles de millones (10^{9}) de toneladas. En la parte inferior del Cuadro 1 se incluye la estimación de la cantidad de agua utilizada. Esta 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 substancias como el oro y el cobre, cuya obtención y beneficio comporta además un manejo masivo de agua, energía y contaminación.

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 empequeñeciendo 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[15]. Todo lo cual justifica la necesidad de dar un tratamiento económico prioritario al uso que nuestra civilización está

[15] YOUNG, J. E. (1992), «La Tierra convertida en una gran mina», en *La situación del mundo en 1992,* BROWN, L. (Edit.), Washington, World Watch Institute (hay traducción española de Eds. Apóstrofe, Barcelona).

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[16], 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, urbanoindustriales 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[17]. Aunque el análisis de

---

[16] MARGALEF, R. (1992), *Planeta azul, planeta verde,* Barcelona, Prensa Científica, S. A. y Biblioteca Scientific American.

[17] 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 del suelo por habitante (excluyendo el suelo de uso agrícola) a la vez que aumentaron las exigencias de energía, aguas y materiales. La mayor ocupación de suelo por habi-

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[18].

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 substancias, 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»[19] 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

---

tante 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., Gascó, J. M., López Linaje, 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.

[18] El lector interesado puede encontrar en el trabajo de Wackernagel y Rees (1995), *Our ecological footprint,* antes citado, desarrollos en este sentido.

[19] ADRIANNSE, A. et alt. (1997), *Resourse flows: The material basis of industrial economies,* Washington: World Resources Institute (USA), Wuppertal Intitute (Germany), Netherlands Ministry of Houseing, Spacial Planning and Environment (Netherlands), National Institute for Environmental Studies (Japan).

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, que 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 substancias, 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 sólo 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 capitalismo 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[20] sobre recursos naturales, denota que los principales productores de carbón eran los principales países consumidores. Así mismo, 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.

[20] PEYRET, H. (1944), *La guerre des matières premiéres,* París, PUF.

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 las 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 substancias, 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 que se adjuntan al final del texto) 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 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 cápita en el Mundo y en los cuatro países para los que se disponía de información comparable. Los datos mundiales per cápita 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 Resouces Institute (1997) de Washington sobre *Resources flows: The basis of industrial economies,* al que ya hicimos

[21] World Resources Institue, Wuppertal Institute, et atl. (1997), *Ressources Flows: The material basis of industrial economies,* World Ressources Institute, Washington VI + 66 pp.

referencia[21]. 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 cápita 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 cápita para la media mundial a 46, 84, 86 y 84, respectivamente, en estos países. Si mantenemos la hipótesis de que el RDM per cápita 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 cápita, el RDM del 84% de la población restante sólo alcanzaría las 3 Tm per cápita. 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 hipótesis moderada de que el RTM per cápita de los países ricos multiplica por 4 la media mundial, alcanzando las 75 Tm per cápita, el correspondiente al resto del mundo a penas rebasaría las 7 Tm per cápita.

En el trabajo de referencia hemos podido comprobar, haciendo uso de las estadísticas de comercio internacional[22], 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 movilizados 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.

---

[22] 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 datoss en toneladas que ofrecía con anterioridad.

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 redistribuirlos 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[23], 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 Basel, 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 que la «política ambiental» que establezca las reglas del juego económico necesarias para que el comercio 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 enviarlos 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[24], resulta altamente previsible que la política ambiental

[23] Greenpace (1991), *The international trade in wastes. A Greenpace inventory*, Washington.

[24] Véase en este mismo volumen el texto de Ramón MARGALEF, en su apartado «Un verosímil escenario futuro: el océano mundial como vertedero», pp. 53-60.

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 cuáles 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 términos 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. En el trabajo de referencia no puede 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[25], 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 definición, 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 «conven-

[25] MARGALEF, R. (1996), *Una ecología renovada a la medida de nuestros problemas*, Lanzarote, Fundación César Manrique (la edición trilingüe en español, inglés y alemán), pp. 35-36 de la versión española.

ción 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[26]. 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 *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[27].

---

[26] Esta circunstancia ya fue meditda 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, p. 78.

[27] 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

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 por 100, 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 que la Formación Bruta de Capital Fijo (FBCF o inversión de 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 por 100 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, llevó ya a F. Soddy a argumentar, a principios de siglo, que razonando de este modo 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 crecimiento de la riqueza[28]. 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

---

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.

[28] SOODY, F. (1926), *Wealth, Virtual Wealth and Debt*, London Allen 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 Argentaria-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*, pp. 51-75.

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*»[29]. 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 Constanza y otros[30] en 33 billones (10^{12}) 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 por 100, 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 por 100 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

[29] DALY, H., *op. cit.*, p. 61.

[30] Constanza et alt. (1997), «The value of 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, Constanza y los otros autores de la estimación, reconocen haberse confundido al tomar como punto de comparación un PIB plantario de hace diez aos 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.

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 que se está produciendo un enriquecimiento generalizado, idea que se mantiene simple 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[31] 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

[31] SOLOW, R. (1991), «Sustainability: An economist's perspective», en Dorfman, R. y N. S. Dorfman (eds.), *Economics of the environment*, 3.ª ed. Nueva York.

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 ¿cuáles 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 *statu 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[32]. 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[33] 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»[34]. 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.

---

[32] Nos referimos, evidentemente, al trabajo ya citado: NAREDO, J. M. y VALERO, A. (Dirs.) (1999), *Desarrollo económico y deterioro ecológico,* Madrid, Fundación Argentaria y Visor Distribuciones.

[33] DALY, H. (1991), «Elements of Environmental Economics» y EL SERAFY, S. (1991), «The Environment as Capital», en CONSTANZA, R. (ed.), *Ecological Economics: the science and menagement of sutainability,* Nueva York, Columbia University Press.

[34] Asi mismo, «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 Econmics, celebrada en 1992 en Estocolmo.

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 reproductibles 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[35] 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 reproductible. 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

---

[35] HINTERBERGER, F.; LUKS, F. y SCHMIDT-BLEEK, F. (1997), «Material flows vs. "natural capital". What makes an economy sustainable?», *Ecological Economics*, n.º 23, pp. 1-14. En el mismo sentido vease NAREDO, J. M. yRUEDA, 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).

reposición de los recursos naturales) en los que incurren los procesos «productivos»[36] 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).

[36] 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.

Habida cuenta que el proceder indicado está empujando al planeta Tierra hacia situaciones de creciente deterioro[37], 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 a recurrir al *flujo* solar para hacer un uso reciclado y mejorante de los mismos. Se ha venido optando hasta ahora por el logro 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).

---

[37] 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.

– *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 termodinámicamente (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 substancia 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 termodinámicamente (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 substancias 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[38] 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.

[38] AHRENDTS, J. (1980), «References States», *Energy,* Vol. 5, pp. 667-677.

Pero si abandonamos también el concepto de equilibrio interno para definir el estado termodinámicamente 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 temodinámicamente (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.

Tomando como base estas circunstancias, Szargut (1986-89)[39] 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 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

[39] 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.

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 (de naturaleza química). 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 substancias 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 substancias 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 temodinámico. En el mejor de los casos, para

la media 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 substancias 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 lanto, cabe concluir que el coste que nos ahorra la naturaleza al ofrecernos yacimientos con substancias 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 considerados, desde el ambiente de referencia (AR), en aquella parte que nos ahorra la naturaleza (al ofrecernos estas substancias 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[40] (***kep***) por tonelada (*t*) de metal. Se observa así, por ejemplo, que por cada tonelada de estaño que se dispersa, harían faltan, 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. 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 en 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 substancias 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)[41]. El manejo de informacio-

[40] Hemos elegido el petróleo para expresar este coste enérgetico, porque los logros extractivos y movilizadores de la civilización industrial se asientan, en su mayor parte, en usar la exergía de petróleo y otros combustibles fósiles sin preocuparse de reponerla. Por ello, el trabajo de referencia ofrece un apéndice sobre las posibilidaes técnicas de reponer el petróleo una vez quemado.

[41] 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 contrapo-

nes como estas se revela 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 substancia 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 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

---

sición al descenso de la ley de los minerales en explotación, que tiende a aumentarlo, tal y como ha analizado Mathias Ruth para algunas substancias: RUTH, M. (1995), *Ecological Economics,* núm. 15, pp. 197-213. No obstante, las mejores tecnológicas nunca podrán llegar a situar los costes reales por debajo de los costes teórico calculados para sistemas reversibles, que señalan así el minímo teórico de todos los posibles costes, siempre positivo en virtud del Segundo Principio de la Termodinámica.

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[42]. 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 substancias de los minerales que se extraen de los yacimientos, sino la energía de concentración y de reacción con la que se presentan tales substancias en esos minerales. En suma, que 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*[43] 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 llarnadas 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 preocupa-

---

[42] 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, p. 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 citada.

[43] Utilizó 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).

ción 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[44], 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...»[45]. Incluso un economista 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»[46], 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»[47]. 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[48]. 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.

---

[44] Vid. GEORGESCU-ROEGEN, N. (1977), «Matter matters, too», en WILSON, K. D., edit., *Prospects for growth: Changing expectations for the future,* Nueva York, Praeger, pp. 293-313; (1980), «Matter: a resource ignored by termodinamics», en St. Pierre, L. E. y G. R. Brown (eds.), *Future sources of organic raw materials,* Oxford, Chemrawn I., Pergamon Press, pp. 79-87; y (1982), «La dégradation entropique et la destinée prométhéenne de la technologie humaine», en *Entropie,* n.° 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).

[45] BARNETT, H. y MORSE, Ch. (1963), *Scarcity and growth,* Baltimore, Johns Press, p. 11. Georgescu-Roegen se refiere a estos y otros autores en su irónico y documentado texto «Energy and economic myths» (1972), recogidao en GEORGES-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).

[46] BOULDING, K. (1966), «The economics of the coming spaceship earth», en *Environmental quality in a growing economy,* Baltimore, John Hopkins Press, pp. 3-19, ref. 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).

[47] BROOKS, D. B. y ANDREWS, P. W. (1974), «Mineral resources, economic growth, and the world population», en *Science,* n.° 185 de julio 1974, pp. 13-19, ref. Georgescu-Roegen en Ibidem.

[48] Vid. NAREDO, J. M. (1987), *La economía en evolución. Historia y perspectivas de las categorías básicas del pensamiento económico,* Madrid, siglo XXI, 2.ª edición actualizada de 1996, cap. 26. V. «Perspectivas que se abren ante la cristis de la noción de *materia*». Apdo. sobre «Los excesos de energetismo y la cuarta ley de la termodinámica de Georgescu-Roegen», pp. 478-482.

En otras palabras, el propósito de este trabajo aquí presentado no es hacer ensayos de valoración monetaria del «capital 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, 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 abstrayendo las reglas que rigen dicho comportamiento conjunto. Para lo cual se aplica un enfoque pluridimensional 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 irreductibles 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 «econo-

mía 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, Solo respondió reconociendo que «no cabe duda que todo está sometido a la ley de la entropía, pero –precisando que– tal cosa no es de importacia práctica inmediata para modelizar lo que en último término es un breve instante de tiempo en una pequeña esquina del universo»[49].

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 si 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,

[49] Cfr. DALY, H. (1997), «¿Cuánto 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*).

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[50], como respuesta 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 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 Coopérnico, 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 conveniente-

[50] Vid. referencias en Ibidem.

cia, 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 mecánica 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 sólo puede apreciar parcial e indirectamente, en tanto que sean objeto de valoración monetaria. Concluyendo, que 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 ofrece 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.

CUADROS Y GRÁFICOS

Cuadro 1. TONELAJE LIGADO A LA EXTRACCIÓN DE BIOMASA Y RECURSOS MINERALES EN 1995: Total Planetario (en 10^9 tm)

	Productos
Agrícola	3,6
Forestal	6,2
Ganadería	0,7
Pesca	0,1
TOTAL AGRARIO	10,6 + pérdidas directas (17) + pérdidas indirectas (37)
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
TOTAL ROCAS Y MINERALES	32,0 Mena (37) + Estériles (30) = 67

Pro memoria:	Agua utilizada (10^{12} tm) en 1995
Riego	4,1
Otros usos	0,7
TOTAL	4,8

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

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 Institue et alt. (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
TOTAL	**3.123.986**	**3.039.026**	**4.297.922**	**5.481.655**

Fuente: Ibídem.
* Estimación en base a las tasas de crecimiento anual del volumen por grupos de mercancías.

Cuadro 4. FLUJOS COMERCIALES NETOS DE LOS PAÍSES DESARROLLADOS EN TÉRMINOS FÍSICOS, 1981 Y 1990

		Tonelaje (Miles de Tm)		
		Exportación	Importación	Neto
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
Salto total	1981	180.568	1.132.958	**-952.569**
	1990	216.490	1.352.891	**-1.136.401**

Fuente: Ibídem. 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.

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[1]
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[a]	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 Km²

[1] Excluidos los productos financieros «derivados» negociables.
[a] 1994.
Fuente: Ibídem

Cuadro 6. CÁLCULO DEL COSTE EXERGÉTICO TEÓRICO Y REAL PARA CONCENTRAR CIERTAS SUBSTANCIAS DESDE LA LEY DE MINA 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	0,5	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

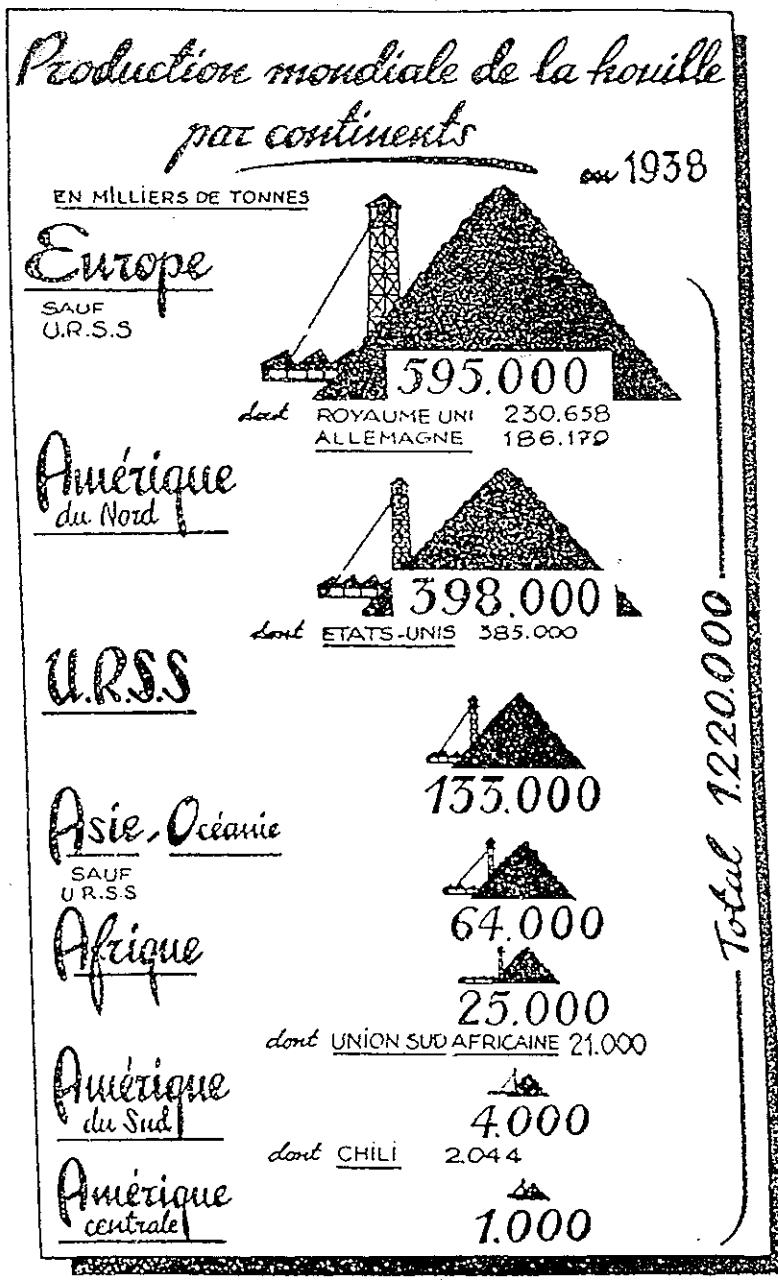
* En condiciones reversibles.
Fuente: Ibídem

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. realConc. aportado por la Naturaleza. (1) *kep/t(metal)*	Cost. Ex. real Conc. aportado por la industria (2) *kep/t(metal)*	Cost. Ex. real Conc. 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	11.640	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

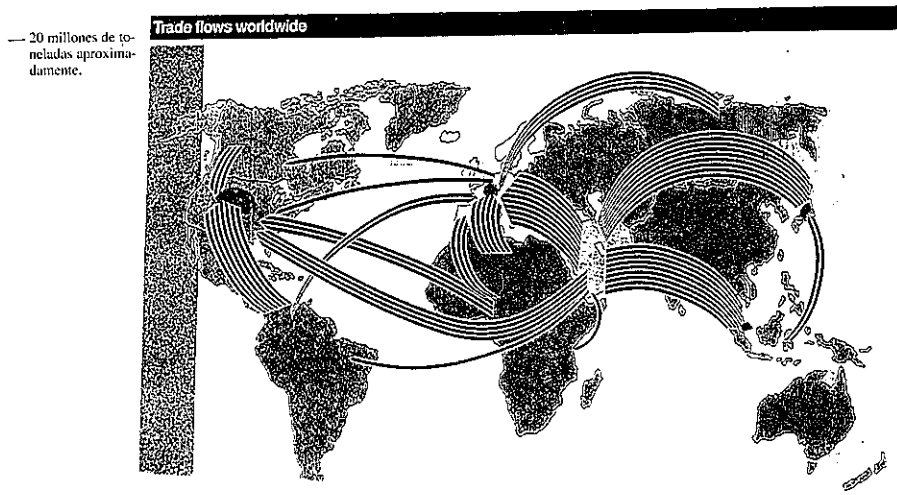
Fuente: Ibídem

Gráfico 1. Producción mundial de hulla por continentes



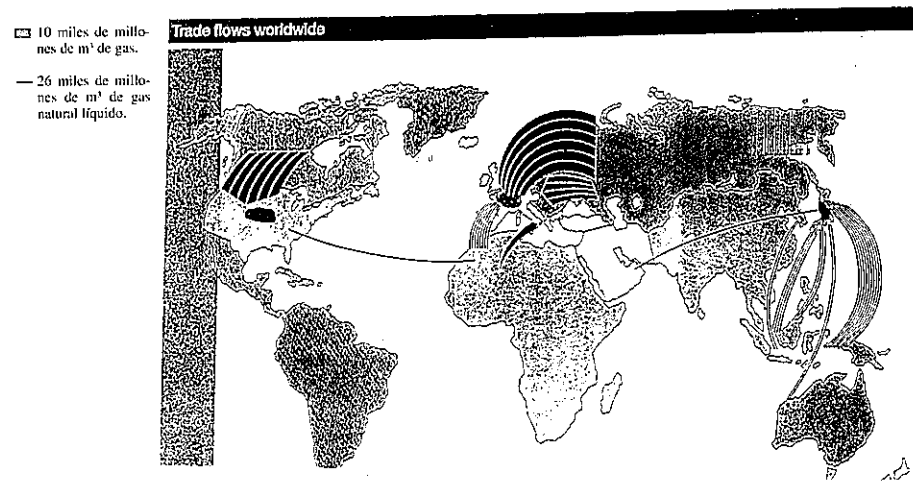
Fuente: Peyret, H. (1944). *La guerre des matières premières.* Paris, PUF

Gráfico 2. Principales flujos internacionales de petróleo



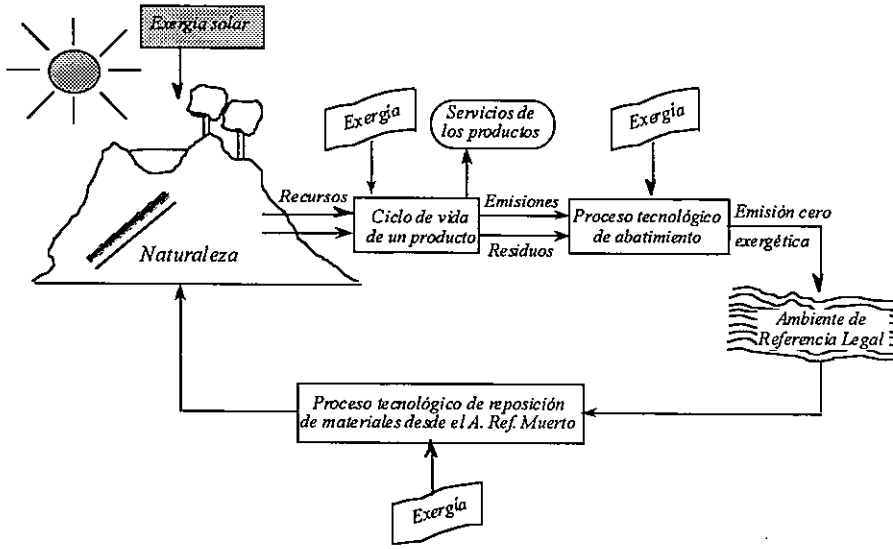
Fuente: BP bulletin, 1997.

Gráfico 3. Principales flujos internacionales de gas natural



Fuente: BP bulletin, 1997.

Gráfico 4. ESQUEMATIZACIÓN DEL ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA INCLUYENDO LA REPOSICIÓN DE LOS RECURSOS NATURALES.



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

En los últimos tiempos preocupa cada vez más que la civilización industrial esté sometiendo a la Tierra a ritmos de explotación y deterioro que se revelan "insostenibles". ¿Hasta qué punto ello es así? ¿Disponen las ciencias del "oikos" del aparato conceptual y estadístico adecuado para precisarlo? ¿Cómo influye o puede influir la ciencia en la toma de decisiones? ¿Se está reconvirtiendo la sociedad industrial hacia bases más "sostenibles"? ¿Cuáles son los requisitos para que tal cosa ocurra? El presente libro trata de responder a estas preguntas. Se analiza el interés que para ello tienen los planteamientos de la economía, la ecología y la termodinámica, abriendo camino hacia una reflexión económica abierta y transdisciplinar. Se precisa sobre lo que pueden aportar la ciencia cuantitativa y las consideraciones institucionales en la toma de decisiones económicas. Se reflexiona sobre la incidencia de la especie humana sobre la Tierra, haciendo hincapié en los problemas que suscita la creciente urbanización. Finalmente se ofrece una síntesis planetaria del metabolismo de la presente sociedad industrial.

José Manuel Naredo, economista y estadístico, cuenta con una larga experiencia en estudios macroeconómicos e investigaciones que combinan reflexiones de fondo sobre los fundamentos de la ciencia económica, con análisis concretos sobre el funcionamiento de los sistemas agrarios, urbanos e industriales y de su relación con los recursos naturales. Actualmente trabaja como consultor e investigador independiente. Es profesor *ad honorem* en las Universidades Complutense y Politécnica de Madrid y Premio Nacional de Medio Ambiente. Entre sus publicaciones más relevantes se encuentran: ***La evolución de la agricultura en España*** (4ª reed. corregida y aumentada, Servicio de Publicaciones de la Universidad de Granada, 1996), ***Extremadura saqueada. Recursos naturales y autonomía regional*** (Dirigido en colaboración con M. Gaviria. París, Ed. Ruedo Ibérico y Barcelona, Ibérica de Eds. y Public., 1978), ***La economía en evolución. Historia y perspectivas de las categorías básicas del pensamiento económico*** (Madrid, Siglo XXI, 1987; 2ª ed. actualizada, 1996), ***Hacia una ciencia de los recursos naturales*** (J. M. Naredo y F. Parra, eds., Madrid, Siglo XXI, 1993), ***La burbuja inmobiliario-financiera en la coyuntura económica reciente (1985-1995)*** (Madrid, Siglo XXI, 1996), ***Desarrollo económico y deterioro ecológico*** (Naredo, J. M. y A. Valero, dirs., Madrid Fundación Argentaria y Visor Distrib., 1999) y ***Composición y valor del patrimonio inmobiliario en España*** (J. M. Naredo, dir., Madrid, Servicio de Publicaciones del Ministerio de Fomento, 2000).

Fernando Parra es ecólogo, especialista en sistemas terrestres y agrobiosistemas; autor de varios libros (***Diccionario de ecología***, Madrid, Alianza, 1982; ***La dehesa y el olivar***, Madrid, Debate, 1986, entre otros) y de numerosos artículos sobre estos temas. Miembro del Programa Hombre y Biosfera (MaB) de la UNESCO, ha sido profesor de ecología en la Universidad Autónoma de Madrid y consultor del Programa Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) con sede en Nairobi. Actualmente imparte cursos de postgrado en diversas universidades españolas y americanas y trabaja, como asesor en cuestiones ecológicas, en el área de Planificación de la Consejería de Obras Públicas, Urbanismo y Transportes de la Comunidad de Madrid.

Fundación
Universidad de Verano
de Castilla y León

SIGLO VEINTIUNO
DE ESPAÑA EDITORES