



finales de una década como la de los setenta, que vio la publicación en 1972 de *Los límites al crecimiento*, y la ulterior propuesta de desarrollo sostenible manejada a partir de la publicación del *Informe Brundtland* en 1987, cuando los economistas partidarios del crecimiento económico encontraron un asidero teórico y empírico al que agarrarse en pleno temporal.

En efecto, en 1978 Wilfred Malembaum, un profesor de la Universidad de Pensilvania, irrumpió con fuerza en la discusión sobre la bases materiales de la economía mundial al sugerir que en la mayoría de las regiones económicas del planeta la *intensidad de uso* de los principales recursos minerales (medida a través de la demanda de materiales por unidad de PIB) había declinado considerablemente entre 1951 y 1975, presagiando una continuación de la misma tendencia para 1985 y el año 2000 (2). Los datos presentados para sustancias como el acero, manganeso, cobalto, tungsteno y el estaño así parecían confirmarlo, con la única excepción del aluminio.

En aquella ocasión se ofrecían como explicaciones de la tendencia decreciente tres elementos que, con mayor o menor aditamento, serían repetidos en años sucesivos: a) los cambios en el consumo final de bienes y servicios, b) el progreso tecnológico que aumenta la eficiencia en el uso de los recursos reduciendo también la generación de residuos y, por último, c) la sustitución de materias primas tradicionales por otras nuevas más eficientes espoleadas por los movimientos de precios y el desarrollo tecnológico (Malembaum, 1978, 2).

Esta circunstancia, unida al hecho de que, al calor de la crisis energética, algunos países mostraran una reducción de la utilización de energía por unidad de PIB, parecía presagiar una progresiva «independencia» del crecimiento económico respecto del consumo de energía y recursos naturales, apuntando así la posibilidad de una singular «desmaterialización» de la economía (3).

Abundando en los viejos argumentos de Malembaum, durante las décadas de los ochenta y noventa se incidió en el cam-



bio estructural avalado por el creciente proceso de «terciarización» y tecnologización de las economías industriales —donde el sector servicios viene a significar entre un 60% y un 70% del PIB—, dominando un tipo de actividad que, en principio, parecía demandar «menos» energía y materiales que la industria o la agricultura, y dado que gran parte del crecimiento económico se debía al aumento de estas actividades, entonces podría incrementarse el PIB utilizando a la vez menos recursos naturales (4).

Por otro lado, dentro de la propia industria se quiso ver una masiva sustitución de materias primas tradicionales (hierro, cobre, plomo, madera, vidrio, etc.), cuya extracción y fabricación requería, a su vez, el consumo de abundante energía y materiales, por otras nuevas sustancias (sintéticas, fibras, plásticos, etc.) que parecían exigir menor intensidad de recursos («transmaterialización»). Además, los procesos de reconversión de la industria básica en los países de la OCDE, así como la incipiente aparición de nuevas actividades industriales ligadas al ámbito de la investigación y el desarrollo (I+D) tecnológicos, llevaron a pensar que los recursos naturales dejarían de ser un problema para el aumento del PIB.

Por último, se mencionó también como ejemplo desmaterializador el proceso de

descontaminación que, fruto del «éxito» de ciertas políticas ambientales en los países industrializados, habría llevado a una reducción de la generación de residuos y la contaminación en relación con el PIB. Habida cuenta la creencia en una menor entrada de recursos naturales por unidad de PIB en el sistema económico, no parecía muy difícil derivar de aquí la hipótesis de una reducción simultánea en la emisión de residuos y contaminación, consecuencia de la actividad económica.

Es verdad que el impulso de Malembaum encontró continuidad durante la década de los ochenta, proliferando estudios donde la presión ejercida por las economías industriales parecía declinar, lo que dio paso a que se hablara de «desconexión» (*delinking*) entre crecimiento económico y recursos naturales. Una desvinculación que intentaban revelar la mayoría de los análisis económicos y que se concretó en una reducción de la intensidad de energía y materiales en gran parte de los países de la OCDE desde 1970, actualizándose en cierta medida las predicciones del norteamericano.

Para verificarlo se realizaron diferentes aproximaciones con el objetivo de integrar en un solo «índice de deterioro ambiental» el consumo de recursos, siendo uno de esos intentos el llevado a cabo por M. Janicke y sus colaboradores a partir de un indicador que agregaba el consumo de energía, acero, cemento y el peso de las mercancías transportadas por carretera y tren (Janicke *et al.*, 1989). El resultado parecía llegar a la conclusión de que, entre 1970 y 1985 se había producido, simultáneamente, un aumento del PIB y una reducción en la utilización de aquellos flujos de recursos naturales en varios países como Francia, Suecia, Alemania o Gran Bretaña, como consecuencia, se decía, de un cambio estructural de sus economías, que como se demostró más tarde tuvo sólo un carácter temporal.

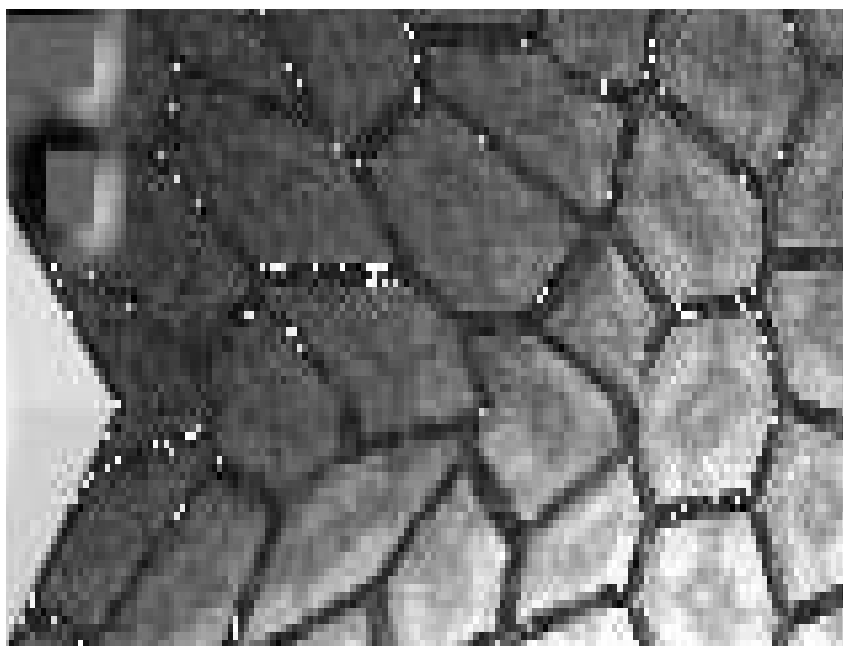
Ahora bien, una oportuna matización y demostración de que los resultados «desmaterializadores» de Jánicke se volvieron «rematerializadores» a finales de los ochenta y en la década de los noventa en países como Bélgica, Francia, Holanda, Gran Bretaña y Estados Unidos se puede

encontrar en De Bruyn, Van den Bergh y Opschoor (1997), detectando también esta tendencia «rematerializadora» para el caso australiano Pincton y Daniels (1999).

Obviamente, la repercusión de estos análisis fue mucho mayor desde el momento en que el debate sobre el «cambio estructural» y la «desmaterialización» coincidió, a partir de 1987, con la discusión en torno a la posibilidad del desarrollo sostenible. Los resultados relatados eran un buen argumento para que, desde el enfoque económico convencional, se recuperase, en el plano teórico, algo que nunca se había perdido desde el punto de vista de la política económica, esto es, la opción del crecimiento económico como solución a los problemas ambientales. Aunque existían sólidas razones que avalaban la estrecha relación entre crecimiento económico y deterioro ecológico —mostrando en este punto la debilidad analítica del enfoque ortodoxo— pronto se modelizó el «hallazgo desmaterializador» para ayudar a cambiar las tornas.

Al regazo de éstos y otros resultados similares se afirmó que, en los países ricos, a pesar de que las fases iniciales del desarrollo económico dependían directamente del consumo de recursos naturales, existía un determinado nivel de renta *per cápita* (*turning point*) a partir del cual mayor crecimiento económico implicaba una reducción del consumo de recursos y de la contaminación. La conjunción de ambas circunstancias llevó a sugerir que la mayoría de las economías de la OCDE presentaban una relación entre crecimiento económico y deterioro ambiental en forma de «U-invertida» para una serie de contaminantes relativos a la calidad del aire (SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, partículas en suspensión, etc.) o del agua (coliformes, etc.). Y dado que aquello se parecía mucho a la relación propuesta cuarenta años antes por Kuznets, entre el crecimiento económico y el aumento de la desigualdad, se decidió bautizar el «descubrimiento» como la «Curva de Kuznets Ambiental» (CKA).

Sin embargo, existen serias dudas sobre la existencia real de dicha curva, no sólo para el ámbito de los residuos, sino también en el caso de los recursos, como ya se ha demostrado en varios trabajos in-



cluidos en este número. Por tanto, no nos detendremos aquí en un análisis pormenorizado de los diferentes argumentos que avalan la anterior afirmación, remitiendo a los mencionados trabajos y a la literatura citada en esos textos (5). Tan sólo mencionar que los hallazgos «rematerializadores» mencionados más arriba en polémica con el estudio de Jänicke y sus colaboradores acabarían avalando la tesis de De Bruyn y Opschoor (1997) en contra de una CKA y a favor, al menos, de una trayectoria en forma de «N», en la que se sucederían episodios breves de «desmaterialización», seguidos de períodos de fuerte exigencia de energía y materiales por parte de las economías industrializadas.

Desde entonces la bibliografía en torno a esta cuestión no ha dejado de aumentar, basculando de un lado entre los análisis referidos a la reducción del consumo relativo de ciertos recursos naturales por la industria y la posibilidad de extrapolar a nivel nacional e internacional estas tendencias. Como a menudo las conclusiones obtenidas desde una perspectiva parcial pueden conllevar un resultado final en sentido contrario, tal vez lo primero sea reconocer que nos hallamos en un terreno en el que no es fácil responder a la cuestión fundamental, a saber: ¿Se está produciendo la desmaterialización?

La respuesta «...depende, sobre todo, de cómo definamos el término. La pregunta tiene un interés particular desde el punto de vista ambiental, porque el uso de menos materiales podría significar menor generación de residuos tanto en la fase de producción como de consumo dentro del proceso económico. Pero menos no significa necesariamente menos desde el punto de vista ambiental. Si los productos son más pequeños y ligeros y también son de peor calidad, entonces se producirá más cantidad, con lo que el resultado en términos netos podría ser un incremento en la cantidad de residuos generados tanto en la producción como en el consumo. Por ello, desde una perspectiva ambiental, la (des)materialización debería definirse como el cambio en la cantidad de residuos generados por unidad de producto» (Herman *et al.*, 1989, 50).

El asunto, por tanto, presenta alguna dificultad, no exenta de polémica. En todo caso, conviene precisar el sentido que le damos a este proceso desmaterializador para intentar evitar equívocos no sólo conceptuales, acusando recibo de una distinción que en los últimos años ha ayudado a aclarar los términos del debate. Se trata de diferenciar entre desmaterialización relativa o débil y desmaterialización absoluta o fuerte. La primera sería aquella que apunta un descenso en los requerimientos de energía y materiales

por unidad de PIB, mientras que la segunda supone una reducción en la cantidad absoluta de recursos naturales que se utilizan por la economía correspondiente (De Bruyn y Opschoor, 1997, 258).

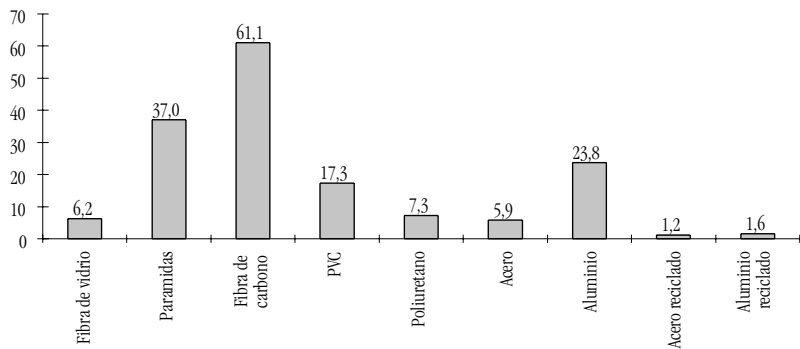
Esta distinción será importante a la hora de evaluar las tesis desmaterializadoras en el plano nacional o sectorial, sobre todo porque más tarde Cleveland y Ruth (1999, 16), en su trabajo panorámico al respecto, zanján el asunto de la definición uniendo las dos dimensiones mencionadas antes, es decir, hablan de desmaterialización como «...la reducción relativa o absoluta en la cantidad de materiales utilizados o en la cantidad de residuos generados en la producción de una unidad de producto».

Los defensores de la desmaterialización también adujeron que, al aplicar el enfoque del ciclo de vida de los productos, en las últimas décadas se había detectado la aparición de nuevos materiales industriales más «ligeros» (sustancias sintéticas, fibras, plásticos, etc.) que se habrían encargado de sustituir a las materias primas tradicionales (hierro, cobre, plomo, madera, vidrio, etc.), reduciendo así los requerimientos de recursos naturales por obra de la innovación tecnológica.

Este fenómeno fue descrito en los años ochenta como «transmaterialización» (6), e investigadores como Labys, Wadell o Larson intentaron poner de manifiesto que los años posteriores al *shock* petrolífero revelaban un cambio desde una etapa de producción de bienes intensiva en el uso de energía y de materiales hacia una era en la que el crecimiento económico estaría dominado por productos que incorporasen menor contenido material. Por ejemplo, a través de varios trabajos se buscó demostrar que la sustitución de hierro, acero, cobre o aluminio por plásticos como el PVC, ABS o polietilenos había ahorrado una energía considerable en la fabricación de frigoríficos, tuberías o envases (7).

Sin embargo, a la vista de la evolución en las extracciones y consumo absoluto de «viejas» sustancias como los minerales metálicos, no metálicos, productos de cantera y madera durante estos últimos años, tanto a escala nacional como desde el punto de vista mundial (8), no parece que

GRÁFICO 1  
COMPARACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS DE ENERGÍA Y MATERIALES PARA LA FABRICACIÓN DE ALGUNOS PRODUCTOS INDUSTRIALES NUEVOS Y TRADICIONALES  
TONELADAS POR TONELADA



FUENTE: Stiller, H. (1999, 9 y ss.).

la presión sobre los recursos tradicionales haya menguado con el paso del tiempo. Antes al contrario, más bien se confirma el carácter *complementario* de ambos tipos de materiales —nuevos y «viejos»— y no sólo a la hora de cumplir una misma función en la fabricación de bienes y servicios, sino que en muchos casos, tal y como veremos, las antiguas sustancias aparecen como condición necesaria para la elaboración de los nuevos materiales.

Esta última circunstancia da pie a reflexionar sobre la creencia general de que la fabricación de materiales sintéticos presentan una menor intensidad de recursos naturales que la obtención de sustancias minerales o energéticas tradicionales. Las cosas, empero, no son tan sencillas como parece. Cuando se realizan los correspondientes análisis del ciclo de vida de los productos, incorporando los requerimientos de energía y materiales asociados a la fabricación de esas sustancias, se observa que, en muchos casos, las exigencias de recursos naturales de los nuevos materiales (fibras de vidrio, PVC, fibras de carbono, etc.) son muy superiores a las necesidades de fabricación ofrecidas por las «viejas» materias primas como el aluminio, el hierro o el acero.

Los gráficos 1 y 2 ponen de relieve cómo, desde el punto de vista de los recursos no renovables, la fibra de carbono, con una exigencia de 61 toneladas de recursos por tonelada de producto, o las p-á-

midas, con 37 toneladas por tonelada, se encuentran muy por encima de los requisitos de fabricación de materiales como el acero o el aluminio. No en balde, por ejemplo, la fabricación de la fibra de vidrio comienza con la extracción de productos de cantera y minerales no metálicos como sulfatos, piedra caliza, arenas y gravas; y si consideramos como materia prima los metales reciclados, tanto el acero como el aluminio presentan, con mucha diferencia, las mejores *ratios*, superando incluso a materiales plásticos como el PVC o el poliuretano.

Y tampoco mejoran demasiado las cifras para los nuevos materiales cuando recaemos sobre las necesidades de agua en la fabricación. Aquí, el acero reciclado supera a todos los demás materiales, acompañado de nuevo por el aluminio cuando se parte de materias primas secundarias (Stiller, 1999, 9-23). Con todo, la fabricación de estos nuevos productos se ha incrementado considerablemente en los últimos años, operando, en ocasiones, en mercados fuertemente oligopolizados (9); la fibra de vidrio es uno de los materiales más comunes para el reforzamiento de los plásticos, así como para otras aplicaciones en el campo de las telecomunicaciones o el aislamiento de materiales; o el caso del PVC para todo tipo de envases y acondicionamiento de edificios. Así pues, como decíamos, más que una sustitución a nivel global de los viejos materiales (acero, cemento, papel, etc.) por otros



biente provenga de las dificultades que existen para delimitar este tipo de actividades. No en balde estos inconvenientes abonaron la naturaleza residual («todo aquello que no fuera industria o agricultura») de este tipo de actividades a medida que se iban configurando los Sistemas de Cuentas Nacionales; destacando desde el principio como criterio muy general de clasificación precisamente el rasgo «inmaterial» presente en todos los servicios, por contraposición a la «materialidad» que se desprendía de la fabricación de bienes y productos diversos.

Aunque esta característica es apenas generalizable a muchos de los servicios actuales, tanto en sus requerimientos como en sus efectos —baste mencionar la ironía de A. Henten en un pasaje recordado recientemente por Inge Ropke: «pocas personas estarían dispuestas a pagar por un corte de pelo que no tuviera efectos materiales» (Ropke, 2001, 39)—, otros intentos se han sumado a la tarea de describir esta actividad con idéntico resultado, del tal suerte que se terminó por imponer el pragmatismo de los contables nacionales, conformándose un cajón de sastre de actividades diversas con el único criterio diferenciador de si el servicio que se presta está o no destinado a la venta. Por esta razón las clasificaciones que se barajan en la literatura suelen ser ordenaciones más o menos *ad hoc* que responden a los objetivos del análisis, siendo las más conocidas aquellas que distinguen entre servicios comerciales en general (ventas al por mayor y por menor), servicios a empresas (auditoría, asesorías, etc.) transporte y comunicaciones, hostelería y restauración, viajes, etc., y servicios sociales (educación, sanidad, etc.).

Dada esta heterogeneidad, parece razonable pensar que la intensidad energética y material de los servicios también deba ser muy distinta, por lo que a la hora de juzgar el impacto ambiental habrá que tener presentes los rasgos que hacen que un servicio sea una actividad más o menos nociva ecológicamente. Si somos capaces de identificar estos rasgos podremos hacer un seguimiento del consumo de esos servicios y ver hasta qué punto una sociedad ha optado por la utilización de aquellos menos intensivos en recursos naturales —fomentando así cierta «desmaterialización»— o, por el contrario, ha experimen-

tado un crecimiento de los servicios más exigentes en energía y materiales, favoreciendo el deterioro ambiental.

Dos criterios se han propuesto en varias ocasiones para facilitar la discusión (Ropke, 2001, 41). Un primer candidato para evaluar si la utilización de un servicio reduce el impacto ambiental podría ser su intensidad en factor *trabajo* en comparación con otros *inputs*. Así, los servicios personales relacionados con el cuidado de niños, ancianos, enfermos, educación, etc., parecen, *a priori*, buenos ejemplos de actividades con menor coste ambiental. El segundo criterio suele hacer referencia a la capacidad de un servicio para *reemplazar* la compra de nuevos bienes por parte de los consumidores. El caso de los servicios de reparaciones, mantenimiento y alquiler constituirían buenos ejemplos, pues alargan la vida de los productos y el uso que pueden hacer de ellos diferentes personas.

Si bien se ha producido un importante crecimiento de algunos servicios intensivos en trabajo (fomentados por la expansión de los servicios públicos ligados a la protección social y a las prestaciones educativas y sanitarias), lo cierto es que el papel desempeñado por los servicios relacionados con las reparaciones, el mantenimiento o los alquileres de bienes apenas han denotado cambios sustanciales. Pero más importante que lo anterior es la constatación de que los servicios que podían ayudar a no incrementar el deterioro ambiental resultan minoritarios en la composición del sector servicios a nivel nacional. En el caso de un país como España, el total de los servicios no destinados a la venta (de carácter básicamente público) apenas llegan al 25%, mientras que los servicios de reparación y mantenimiento alcanzan el 3%.

Frente a estos porcentajes, nos encontramos un panorama donde, en la mayoría de los países, dominan aquellas actividades de servicios más intensivas en energía y materiales, habiendo experimentado también sustanciales crecimientos en los últimos años: servicios como el transporte, el comercio, los restaurantes, hoteles, viajes, telecomunicaciones, representan el grueso de los servicios en las economías de la OCDE.

Si esto es así, y las cifras de la contabilidad nacional lo atestiguan, entonces no parece que la expansión del sector servicios haya paliado el deterioro ecológico y menguado la dependencia de la economía respecto de los recursos naturales. Lo que, de paso, da la razón a los esposos Meadows y J. Randers cuando, en el vigésimo aniversario de *Los límites del crecimiento*, recordaban lapidariamente: «A veces uno oye hablar de una sociedad “postindustrial” que utilizará menos materiales porque la economía consistirá en menos industria y más servicios. La idea no tiene en cuenta hasta dónde los servicios dependen de la base material y de los materiales traídos de todo el mundo» (D & D, Meadows; J. Randers, (1992, 111).

Tampoco cabe olvidar que, desde hace tiempo, se han venido redoblando aún más los esfuerzos por complementar el proceso «desmaterializador» de la producción con un proceso paralelo de «inmaterialización» del consumo, habiendo tenido que esperar hasta entrados los años noventa para ver proliferar con mayor vigor los ejemplos de ese supuesto consumo «inmaterial». Las nuevas Tecnologías de la Información y las Telecomunicaciones (TIC), incipientes en los años setenta y ochenta se han hecho ahora fuertes en la vida de las sociedades industrializadas, como una extensión de un tipo de sector servicios con componentes tecnológicos avanzados tanto por el lado de la fabricación como por el del consumo final.

Todo lo cual llevó a acuñar en los noventa una fórmula —«nueva economía»— que alcanzó cierto éxito mediático hasta hace apenas unos meses pero que, en la actualidad, no pasa por sus mejores momentos —como así lo demuestra la evolución del valor bursátil de las compañías «.com» en la mayoría de los mercados—.

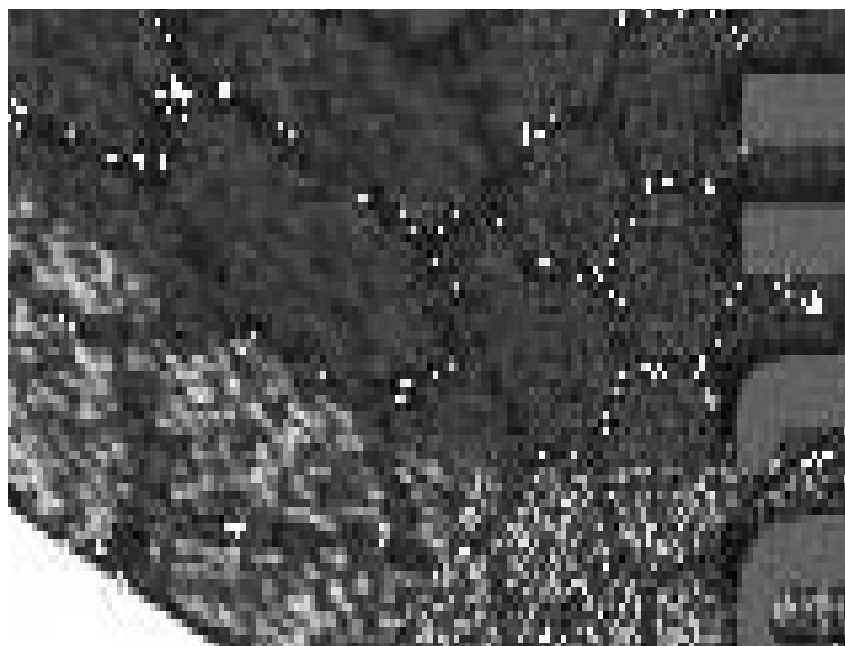
La «nueva economía» ha pretendido, de una vez por todas, romper las ligaduras que tradicionalmente vienen uniendo y restringiendo el funcionamiento del sistema económico a los cimientos físicos y ambientales que le dan vida; lo que explica el interés por denominarla también como *weightless economy*, esto es, economía sin peso, ligera, sin soporte material,

que no atiende a restricciones en términos de recursos naturales porque no se apoyaría en ellos para su funcionamiento. La sugerencia, sin embargo, no es nueva. Algo similar apuntaba E. Parker en los albores de la revolución informática: «en la era de la información el crecimiento económico ilimitado será teóricamente posible, al conseguirse un crecimiento cero del consumo de energía y materiales» (Parker, 1976, citado en Marvin, 1997, 50. Énfasis nuestro). Tesis reafirmada años más tarde por Manuel Castells en un celebrado libro en el que se nos recuerda que estamos «...en el comienzo de una nueva existencia y, en efecto, de una nueva era, la de la información, marcada por la autonomía de la cultura frente a las bases materiales de nuestra existencia» (Castells, 1997, 514).

Éstas y otras consideraciones han alimentado una visión crítica de los servicios prestados por las nuevas tecnologías y de las telecomunicaciones en general, que se presentaban como un refinamiento del viejo argumento para apoyar que el sector servicios en general era menos intensivo en recursos naturales que la industria tradicional. Al igual que en aquella ocasión, también aquí se quiere destacar que, desde el punto de vista ambiental, no sólo se generará menor impacto con un consumo generalizado, sino que, en muchos casos, las nuevas tecnologías, al promover la mayor eficiencia en la producción y el consumo, abanderarán la solución al deterioro ecológico. Lamentablemente, la realidad se presenta algo más compleja que los deseos de los optimistas tecnológicos, lo que obliga a adoptar ciertas cautelas, sobre todo desde dos puntos de vista: respecto a los costes ambientales asociados a la fabricación, uso y vertido de bienes informáticos y, en relación con el aumento del consumo global (efecto rebote), que también se produce en el caso de las nuevas tecnologías.

**EL «EFECTO REBOTE»  
EN LAS CONSECUENCIAS  
AMBIENTALES DE LAS TIC**

Si en todo este tiempo, la tecnología a disposición de las empresas y los propios hogares ha progresado tan rápida-



mente, ¿cuál es la razón por la que los importantes incrementos de la eficiencia en el uso de los recursos no se han traducido en disminuciones del impacto ambiental? ¿Por qué en un escenario de escaso crecimiento demográfico en los países ricos y de progreso tecnológico importante, se ha acentuado el deterioro ecológico del planeta a escala global y de las economías nacionales en particular? (10). En efecto, en la medida en que las mejoras en la eficiencia consecuencia del desarrollo tecnológico, no derivan en un menor consumo global de energía y recursos, sino, al contrario, en un incremento importante de los mismos, se puede hablar de la existencia de un «efecto rebote» (11).

Y se puede hablar de este asunto ya desde mucho antes, tal y como supo ver W. S. Jevons para el caso del carbón en Gran Bretaña a mediados del siglo XIX; lo que explica que, con la recuperación de este lúcido precedente, se haya podido hablar simultáneamente de «efecto rebote» o «paradoja de Jevons» (12). No en balde, el caso de las TIC no es una excepción dentro de la tendencia general.

A comienzos de la década de los ochenta fue D. J. Khazoom (1980) quien, después de unos años de aumentos importantes en los precios del petróleo, puso de nuevo sobre el tapete el asunto teórico en el

caso del consumo de los hogares. Este trabajo estimuló una serie de estudios que trataron de dilucidar no sólo la existencia del «efecto rebote» y su correcta definición, sino su tamaño y localización. Desde una perspectiva microeconómica, se analizó la influencia sobre el consumo de los hogares en su vertiente relativa al uso de energía para calefacción, refrigeración y transporte, así como el efecto de la eficiencia tecnológica sobre la demanda de servicios energéticos por parte de las empresas.

La mayoría de estos análisis se centraron en el comportamiento de las familias estadounidenses, ya fuera a través del seguimiento de la demanda eléctrica para calefacción —donde, según los estudios, las ganancias en eficiencia se saldaban con aumentos en el consumo (efecto rebote), que iban, según los casos, desde el 8% hasta el 65%; o que el importante ahorro en el combustible utilizado por los automóviles por cada 100 km se compensara globalmente con aumentos en el número de kilómetros recorridos y el carburante consumido a largo plazo, que iban desde el 30% en el caso de Estados Unidos, hasta el 32% en Alemania, o el 51% en Italia. El cuadro 2 trae a colación algunos otros ejemplos de productos singulares (plásticos, teléfonos móviles, latas, etc.) donde también se ha producido este efecto.

CUADRO 1  
ALGUNOS TRABAJOS EMPÍRICOS SOBRE EL «EFECTO REBOTE»

Estudio	Caso	Resultado
Blair, <i>et al.</i> (1984)	Millas recorridas en coche en Florida (1967-1976)	Efecto rebote del 21%
Khazzoom (1986)	Demanda eléctrica para calefacción de hogares en Sacramento	Efecto rebote del 65%
Dubin, <i>et al.</i> (1986)	Participación de 214 hogares en un Programa de Mejora de la Eficiencia de la calefacción en el hogar	Efecto rebote entre el 8% y el 13%
Jones (1993)	Millas recorridas en EEUU entre 1966 y 1990	Efecto rebote a corto plazo: 13%. Efecto rebote a largo plazo: 30%
Walker y Wril (1993)	Distancias recorridas en Francia, Alemania e Italia (1961-1985)	Efecto rebote a largo plazo entre el 32% (Alemania) y el 51% (Italia)
Greene, <i>et al.</i> (1999)	Consumo de carburante de coches estadounidenses (1979-1994)	Efecto rebote a largo plazo del 20%

FUENTE: Adaptado de Binswanger (2001, 124), donde se pueden encontrar las referencias señaladas.

Por otro lado, a nivel macroeconómico, también se discutió e intentó explicar el aumento en el consumo global de energía producido por las reducciones en la intensidad energética (tep/PIB) de algunos países (Schipper y Grubb, 2000). No en vano, entre 1973 y 1990, con un aumento de la eficiencia energética global a nivel mundial en torno al 2% anual, el resultado fue un incremento neto del consumo de combustibles (efecto rebote) del 0,7% al año (Jokinen *et al.*, 1998, 494). La explicación más general de este hecho descansa en que la eficiencia tecnológica, al reducir los costes de producción, conlleva a su vez un descenso del precio y, por tanto, si nada se modifica, un aumento de la demanda y el consumo (13).

Dejando al margen algunos detalles, la mayoría de los trabajos empíricos han avalado el hecho de que el «efecto rebote» existe y que su valor, en términos generales, se encuentra entre el 5% y el 50% (Binswanger, 2001, 123), dependiendo de los datos de base y el método elegido para el cálculo. Una revisión exhaustiva de 78 trabajos empíricos realizada recientemente permite afirmar que, con incrementos de eficiencia energética del 100% en el uso de los productos, y de un 10% en el consumo de carburante, el efecto rebote potencial para el uso de la calefacción en el hogar se encuentra entre el 10% y el 30%, en el alumbrado residencial de un 5%-12%, en el agua caliente sanitaria del 10%-40%, o en caso del uso del automóvil del 10%-30% (Greening *et al.*, 2000, 398).

Por lo tanto, aunque pueda parecer paradójico, este resultado relativiza las po-

sibilidades ofrecidas por la tecnología para acabar con el deterioro ambiental y la utilización masiva de recursos naturales, situándola más en el terreno de «condición necesaria», pero apenas suficiente, para resolver el problema. Pues, como lo expresa Stephen Bunker: «...la mayor eficiencia en el uso de las materias primas contribuye a lograr una mayor capacidad social de consumo de materias primas» (Bunker, 1996, 83) (14). Por tanto, para el caso que nos ocupa, una buena forma de ver la distancia entre lo prometido por la nueva economía y la sociedad de la información respecto a lo realmente sucedido será hacer un seguimiento de las pautas de consumo en este período, en el que ha aflorado el uso de las nuevas tecnologías.

Y conviene comenzar recordando que una de las propuestas que más ríos de tinta dejó por el camino fue la creencia de que las TIC iban a promover el advenimiento de la «oficina sin papeles», esto es, la aspiración a que la utilización de tecnologías de la información y las telecomunicaciones permitiría el funcionamiento normal de la economía sin soporte escrito. En contra de lo esperado, éste es uno de los mitos que más temprano se revelaron como falsos habida cuenta que tras la expansión acelerada de las TIC el consumo de papel se ha incrementado también espectacularmente, multiplicándose, en algunos casos como Estados Unidos, por cinco veces entre 1960 y 1997 (Plepy, 2002, 518).

En el mismo sentido, tampoco la proliferación de medios de información digitales

ha conllevado un declive de la prensa escrita y por lo tanto del consumo de papel asociado a la misma. Estos efectos inducidos de las nuevas tecnologías a veces suelen considerarse como indicadores del aumento de la riqueza de un país, pero, como subrayan Hilty y Ruddy (2000, 11): «Los periódicos han celebrado el hecho de que un habitante suizo consume ahora en promedio 240 kg de papel al año y la tendencia está aumentando.

¿Es esto lo que podemos esperar de la sociedad de la información?. Ecológicamente, la cosa, sin embargo, no mejoraría demasiado si llegáramos a una sustitución total de medios escritos por medios electrónicos: el impacto ambiental de recibir un mismo número de noticias por Internet o televisión, en términos de recursos, es equivalente al de un periódico a los 20 minutos de uso para el primero de los casos y a 85 minutos para el segundo (Plepy, 2002, 518).

Mucho más pesimista resultó el análisis realizado por Plätzer y Göttching, al concluir que la lectura de un periódico *online* utilizaba diez veces más energía de origen fósil y generaba dos veces más residuos que un periódico tradicional (Plätzer y Göttching, 1998 y Fichter, 2002, 23). Sin embargo, Gard y Keoleian (2003) han matizado algo estos resultados en su detallado análisis comparativo sobre los costes energéticos asociados a la lectura de revistas científicas en papel frente a las electrónicas. La elaboración de diferentes escenarios en cuanto al número de lectores y forma de impresión de la información otorga un rango de entre 4,1 y



CUADRO 2  
EJEMPLOS DE «EFECTO REBOTE» QUE REDUCEN LAS GANANCIAS DE EFICIENCIA  
EN ALGUNOS PRODUCTOS SELECCIONADOS

Producto	Ganancias en eficiencia	Factores que reducen las ganancias en eficiencia
Plásticos en automóviles	El uso de plásticos en automóviles de EEUU aumentó un 26% entre 1980 y 1994, sustituyendo al acero en muchos usos y reduciendo el peso del automóvil en un 6%.	Los automóviles contienen 25 plásticos químicamente incompatibles que, a diferencia del acero, no pueden ser reciclados fácilmente. Por tanto, la mayoría de los plásticos de los vehículos acaban en los vertederos
Botellas y latas	Las latas de aluminio pesan actualmente un 30% menos que hace 20 años	Las latas sustituyeron a un producto ambientalmente superior: las botellas rellenables. El 95% de los envases de soda en los EE UU eran rellenables en 1960
Baterías de plomo	Una batería de automóvil típica usaba 12 kg de plomo en 1974, pero sólo 8 kg en 1994, con mejor rendimiento	Las ventas interiores de baterías en EE UU aumentaron un 76% en el mismo periodo contrarrestando con creces las ganancias en eficiencia
Neumáticos radiales	Los neumáticos radiales son un 25% más ligeros que los neumáticos de pliegue sesgado y duran el doble	Los neumáticos radiales son más difíciles de recauchutar. Las ventas de neumáticos recauchutados para automóviles de pasajeros descendieron un 52% en los Estados Unidos entre 1977 y 1997
Teléfonos móviles	El peso de los teléfonos móviles se redujo en un 1.000 % entre 1991 y 1996	Los abonados del servicio de telefonía celular se multiplicaron por más de 8 en el mismo periodo, casi contrarrestando las ganancias derivadas de un menor peso. Además, los teléfonos móviles no sustituyeron típicamente a los viejos teléfonos, sino que se añadieron al inventario telefónico de una familia

FUENTE: Gardner y Sampat (1999, 109).

216 MJ para el caso de la revista electrónica y de 0,55 y 525 MJ para el texto en versión tradicional.

En cualquier caso, de lo que caben pocas dudas es de que, cuando se trata de Internet, el impacto ambiental es mayor si se imprime además el texto o la noticia, como se puso célebremente de manifiesto en septiembre de 1998, cuando el fiscal Starr volcó en la red el informe relativo al «caso Lewinsky», del que se imprimieron, simultáneamente, millones de copias (Heinonen *et al.*, 2001, 320). Una circunstancia que alcanza aún más sentido habida cuenta que la compra de la impresora se ha convertido en un accesorio muy ligado al propio ordenador: se estima que entre un 66% y un 80% de las compras de ordenadores se realizan conjuntamente con la impresora aumentando así la intensidad material del servicio prestado por el aparato informático (Hilty *et al.*, 2000, 3).

De igual modo que en la discusión sobre la transmaterialización, el aumento simul-

táneo del consumo de energía y materiales de todo tipo no llevaba a pensar en una sustitución de las nuevas sustancias por los antiguos materiales —sino en la *complementariedad* de ambos tipos de materias primas—; desde el punto de vista de las TIC no siempre hemos asistido a una sustitución de aparatos antiguos por otros tecnológicamente más avanzados y con mayores prestaciones, como pone de relieve el crecimiento en el uso de los teléfonos móviles, sin que por ello se haya mermado la compra y utilización de teléfonos fijos, o de ordenadores portátiles, sin reducirse por esta razón la compra de PC de mesa.

Pero más relevancia adquieren estas cifras relativas a la capacidad de la informática y la electrónica para compensar con aumentos en el consumo las ganancias en eficiencia individual, cuando sabemos que, desde hace dos décadas, la producción de dichos aparatos se ha venido desmaterializando aproximadamente por un Factor de 4 cada tres años —al duplicarse cada 18 meses el

número de transistores que tienen cabida en un chip, confirmando así la predicción que Gordon Moore realizara en los años setenta (15)—, lo que lamentablemente no ha redundado en un menor consumo de energía y materiales, habida cuenta la expansión de la compra de ordenadores personales que, en el caso de Estados Unidos, se multiplicaron por 4,5 entre 1991 y 1999 (Kawamoto, *et al.*, 2001, 16).

O también en España, donde los usuarios de ordenador se han duplicado en apenas cinco años, pasando de algo más de seis millones en 1996 a los 11,4 de 2001; es decir, el 33% de la población mayor de 14 años (AIMC, 2001, 4). Cabría añadir además que los avances tecnológicos reductores de las exigencias materiales por unidad de producto se ven más que compensados por la rapidez con que esos nuevos modelos son capaces de llegar a una parte considerable de la población. En el cuadro 3 se expresa claramente este aspecto temporal del problema, atestiguando la diferencia entre los 40 años ne-

cesarios para que el teléfono fijo alcanzara los diez millones de usuarios, mientras que cuando se trata de ordenadores personales ese período se ha reducido a siete años.

Por otro lado, también la supuesta «oficina sin papeles» y la proliferación de algunos avances como Internet abrieron la puerta a pensar más en serio las posibilidades del «teletrabajo», esto es, del trabajo en casa. Aunque a primera vista se plantean ventajas evidentes (reduce los desplazamientos, el consumo de energía, la contaminación, etc.) para realizar una valoración equilibrada conviene, también aquí, hacer bien las cuentas y tener presente otros efectos colaterales generalmente no deseados. Por ejemplo, mientras en el caso de Estados Unidos la adopción del «teletrabajo» como política ambiental podría generar un ahorro energético potencial de entre el 1% y el 3% (Marvin, 1997, 53); hay otros lugares, como Suiza, donde se detectó en 1997 un aumento del 30% en el consumo de energía en aquellos hogares en los cuales uno de los miembros trabajaba en casa. La razón invita a pensar que, si bien se gasta menos energía en el transporte y en la oficina, una parte importante de ésta se consume a través de la actividad desarrollada en el propio hogar (Plepy, 2002, 520) (16).

Pero, sobre todo, la gran esperanza despertada por la «nueva economía» tuvo mucho que ver con las posibilidades abiertas a través del llamado comercio electrónico o *one click shopping*. A pesar de que las ventajas en este caso afectan tanto a la esfera de la producción como a la del consumo, cabe recordar que este tipo de comercio, si bien simplifica los desplazamientos relacionados con la obtención de información y la compra efectiva, no evita el transporte de los productos a domicilio y el coste o impacto ambiental asociado (Digital Europe, 2002, 49). De hecho, se ha comprobado empíricamente que con esta modalidad se tienden a acelerar los servicios de «correo express» para pequeñas cantidades, incrementando así los costes energéticos de embalaje y empaquetado por unidad de producto.

Como en otras ocasiones, tampoco aquí valen los apriorismos respecto a los «aho-

**CUADRO 3  
TIEMPO NECESARIO, EN AÑOS,  
PARA QUE LOS PRODUCTOS  
TECNOLÓGICOS ALCANCEN A DIEZ  
MILLONES DE CONSUMIDORES**

Teléfono	40
TV por cable	25
Fax	22
Video	10
Teléfono móvil	10
Ordenador personal	7

FUENTE: Enquete Commision (1998), Citado por Hilly et al. (2001, 5).

ros energéticos» y conviene echar bien las cuentas. Así, por ejemplo, en Suecia se ha estimado que el comercio electrónico aporta beneficios ambientales en la medida en que: a) sea capaz de reemplazar al menos 3,5 viajes para realizar compras tradicionales, y b) si más del 25% de las ventas se realizan al mismo tiempo y la distancia a recorrer para la entrega es menor a 50 kilómetros. Cuando, por ejemplo, se trata de la venta de libros, en muchas ocasiones el impacto ambiental del comercio electrónico es muy similar al arrojado con la venta tradicional: cada millón de dólares de *best sellers* vendidos en una ciudad metropolitana estadounidense exigen, por término medio, entre 28 y 33 terajulios (TJ), mientras que si el negocio se realiza a través de la red, el coste energético asciende a 30 TJ (Mathews y Hendrickson, 2001, 71).

Esta proximidad, ahora a favor del comercio tradicional, también la detectaron recientemente Williams y Tagami (2001, 2003) para el caso japonés. Lo que no debe sorprender habida cuenta que el servidor de la mayor librería virtual a nivel planetario, esto es, Amazon Books, tiene una potencia de un millón de W/h, es decir, el equivalente al consumo de electricidad de 1.000 hogares españoles medios (Valero, 2002, 31).

En general, estos resultados se vieron también corroborados recientemente por una investigación desarrollada por Chris Galea y Steve Walton, en la que comparaban los costes ambientales asociados al sistema de ventas por supermercado frente al comercio electrónico en Estados Unidos (Gallea y Walton, 2002). A partir

del ejemplo de Webvan, una empresa *online* de comercio situada en la ciudad californiana de Foster y diseñada para servir a subestaciones dentro de un radio de 50 millas alrededor del centro de distribución, se concluye que este tipo de actividad empresarial no es tan benigna ambientalmente como se podía pensar.

Los datos revelaron claramente varios aspectos en los que el comercio electrónico provocaba un mayor impacto ecológico que el sistema de compra tradicional. Por un lado, el mayor consumo de combustible y de emisiones generadas para abastecer al mismo número de hogares era de un 50% en el caso de la energía y 25 veces superior cuando se hablaba de emisiones (cuadro 4).

Dos razones explican este resultado: por un lado, el sistema de distribución centralizado que sirve a subestaciones y éstas finalmente al consumidor final incrementa considerablemente el número de kilómetros recorridos para un mismo servicio. Y si a esto se añade que, en muchos casos, los productos se transportan en una furgoneta refrigerada, los costes energéticos acaban siendo mayores que los que acarrea el desplazamiento de un individuo en su propio vehículo, quien, además, suele aprovechar el viaje de camino al trabajo o para solucionar otros asuntos (Gallea y Walton, 2002, 107-108).

#### **EFFECTOS AMBIENTALES EN LAS FASES DE FABRICACIÓN Y USO DE LAS TIC**

Es verdad que las numerosas declaraciones subrayando los aspectos positivos que se desprenden del uso cotidiano de las TIC han dejado en un lugar secundario las reflexiones que, durante estos años, intentaban poner sobre el tapete algunos efectos no deseados asociados a la proliferación de este tipo de tecnologías. Entre estas consecuencias cada vez han ido tomando mayor relieve aquellas que tienen que ver con las implicaciones ambientales del uso y fabricación de este tipo de bienes y servicios. Más aún cuando, precisamente, el desarrollo tecnológico en este campo, al primar los rasgos «inmateriales» de la producción y el con-

sumo, se presentaba a menudo como la solución a los problemas ambientales que aquejaban al planeta. Y del mismo modo que la reflexión sobre el proceso «transmaterializador» nos hizo ser cautos sobre las menores exigencias de recursos naturales de las «nuevas sustancias», también aquí los datos procedentes de investigaciones detalladas invitan de nuevo a la prudencia.

Pues ya no se trata solamente de que el incremento en el consumo de recursos naturales asociado al efecto rebote haga peligrar el saldo positivo que desde el punto de vista ecológico pudiera albergar la difusión general de la «nueva economía». El problema aparece cuando comienzan a echarse las cuentas de los costes ambientales asociados a la fabricación, uso y vertido de aquellos productos vinculados a la generalización de las TIC que precisamente la posibilitan. Para relativizar —siquiera un poco— la idea comúnmente aceptada de la menor intensidad energética y material de este tipo de aparatos (ordenadores, teléfonos móviles, etc.), tal vez convenga traer a colación las palabras de A. Lovins, quien, en 1973, escribía de forma anticipatoria lo siguiente:

«La máquina de escribir que estoy utilizando ahora probablemente contiene aluminio de Jamaica o de Surinam, hierro sueco, magnesio checo, manganeso de Gabón, cromo de Rodhesia, vanadio soviético, zinc peruano, níquel de Nueva Caledonia, cobre de Chile, estaño malayo, columbio nigeriano, cobalto de Zaire, plomo yugoslavo, molibdeno canadiense, arsénico francés, tantalio de Brasil, antimonio de Sudáfrica, plata mejicana, y restos de otros metales igualmente peregrinos» (Lovins, 1973, 1, citado por Meadows, *et al.*, 1992, 111).

Obviamente, lo anterior vale también para los modernos servicios informáticos y de telecomunicaciones. No en balde, varios estudios de finales de la década de los noventa apuntaban que la fabricación de semiconductores y circuitos integrados exigían usualmente la extracción masiva de sustancias como el germanio, el arsénico, el columbio, el tántalo o los del Grupo del Platino. Y al igual que en el caso de la máquina de escribir, un buen

CUADRO 4  
COMPARACIÓN DE COSTES AMBIENTALES DEL SISTEMA TRADICIONAL (SUPERMERCADO) Y EL COMERCIO ELECTRÓNICO (CIFRAS DE LA EMPRESA WEBVAN)

	Supermercado	Webvan	Diferencia
Número de hogares	10.000	10.000	0
Distancia media de la ruta completa (millas)	5	62	+57
Número de viajes al mes	8	4	-4
Porcentaje de la ruta dedicada a las compras	25	100	+75
Distancia total recorrida al mes (millas)	100.000	97.600	-2.400
Combustible utilizado (galones)	3.994	6.177	+2.183
Emisiones de CO <sub>2</sub>	340.000	10.022.300	+9.682.300
Emisiones de NOx	40.000	3.879.600	+3.839.600
Emisiones de partículas	8.000	387.960	+379.960

FUENTE: Galea y Walton (2002, 108).

número de estas sustancias proceden también ahora del continente africano. Atendiendo sólo a la fase de fabricación, se detectó que los chips de un ordenador Pentium vienen a requerir 11,4 m<sup>3</sup> de agua, 12 kilogramos de productos químicos y 120,8 m<sup>3</sup> de oxígeno; generándose como residuos 14 m<sup>3</sup> de agua, 4 kilogramos de residuos peligrosos y 0,82 m<sup>3</sup> de gases nocivos (Anzovin, 1997, citado por Plepys, 2002, 515).

A lo que habría que añadir que, en un país como Estados Unidos, hay unas 300 fábricas que se dedican a la producción de estos componentes, consumiendo al año 25 TWh, es decir, el equivalente al 1% de toda la potencia instalada en ese país (Valero, 2002, 31). Se comprende entonces que, aplicando un análisis completo de ciclo de vida, entre los requerimientos de recursos naturales de un ordenador personal se encuentren —según el modelo de que se trate— más de 700 sustancias diferentes que suman conjuntamente entre 16 y 19 toneladas de materiales, esto es, *varios miles de veces el peso del propio ordenador* (Malley, 1998).

Este cálculo se hizo aplicando la metodología MIPS (Input Material por Unidad de Servicio) desarrollada en el Wuppertal Institut alemán, llegando a la conclusión de que sólo el 0,1% de los materiales que intervienen en la fabricación llegan a formar parte del ordenador. IBM, con procesos propios, elevó esta cifra hasta el 1,4%, lo que tampoco revela demasiada eficiencia ambiental en la producción.

De hecho, si nos centramos sólo en uno de los componentes principales de un PC de mesa, como es el monitor (modelo CRT que, aunque apenas ya se fabrique ha sido hegemónico hasta la actualidad), los últimos análisis de ciclo de vida realizados por la EPA estadounidense (cuadro 5) arrojan una intensidad material muy elevada tanto en uso de recursos renovables (básicamente agua) como no renovables, que sumados ascienden a casi 14 toneladas; y una generación de residuos, especialmente radiactivos y peligrosos, que no sólo resalta los impactos cuantitativos sobre el medio ambiente, sino también aquellos de carácter cualitativo, más peligrosos aún.

Es cierto que la proliferación de la tecnología LCD de pantalla plana y cristal líquido ya está reduciendo —y lo hará más en el futuro— los requerimientos de recursos naturales y la generación de residuos durante todo el ciclo de vida de un monitor de ordenador. Sin embargo, conviene tener presente que la energía y materiales movilizados continúan superando en varios cientos de veces el peso de los propios aparatos y suponen un coste no despreciable desde el punto de vista de la contribución a un problema global como es el calentamiento del planeta. Pero equilibrando el juicio tal vez podríamos convenir en que las cifras relacionadas con el modelo CRT describen razonablemente los costes ambientales de los monitores fabricados durante la década de los noventa, mientras que los datos relativos al modelo LCD registran el impacto

ambiental que se está produciendo en la actualidad y en un futuro próximo.

Las cifras anteriores sobre intensidad energética y material por tipo de producto se pueden complementar si, a través de las Tablas Input-Output, confrontamos estas cantidades con el valor añadido generado en la producción de estos bienes, obteniéndose así las intensidades materiales por unidad monetaria. Con datos de la década de los noventa, en el caso de Estados Unidos se puede comprobar que, desde el punto de vista de los minerales involucrados en el proceso, la fabricación de semiconductores era incluso más intensiva por millón de dólares que la producción de coches, al requerir 242 toneladas frente a las 226 de los automóviles (gráfico 3); máxime cuando este último proceso industrial es uno de los que más energía y materiales demanda en la actualidad. Dado que los requerimientos energéticos son considerables conviene recordar por el cuadro 5 que sólo el monitor de un ordenador de mesa convencional suponía, según el modelo, la emisión de entre 600 y 700 kilogramos de CO<sub>2</sub> a la atmósfera; cifra que, si la ponemos en relación con el valor añadido generado por la producción de un ordenador completo, se acerca a la mitad del impacto ambiental sobre el cambio climático que ejerce la fabricación de un automóvil (gráfico 4).

Aunque todavía no son muy abundantes los datos procedentes del análisis de ciclo de vida que cuantifiquen el coste energético total —en términos de energía primaria— asociado a la fabricación de un ordenador personal, hay algunas aproximaciones razonables que desde hace pocos años lo cifran entre 10 y 12 GJ por unidad; un valor casi cuatro veces superior al estimado para un televisor en color (2,8 GJ) y muy similar al de un frigorífico (13 GJ). Desde el punto de vista energético la fase de producción de un ordenador es la más intensiva acaparando aproximadamente el 90% del ciclo de vida completo (extracción de materiales, fabricación, uso y vertido) (17). De esta cantidad, 0,8 GJ (cerca del 10% de consumo en la fase de fabricación) se invierten en transportar desde largas distancias los materiales que intervienen en el proceso productivo (Hilty *et al.*, 2000, 2) (18).

CUADRO 5  
COMPARACIÓN DEL IMPACTO DE LA PUESTA EN CIRCULACIÓN DE UN MONITOR DE ORDENADOR (MODELO CRT Y LCD) SEGÚN EL ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA DEL PRODUCTO

Categoría de impacto	Unidades por monitor	Modelo CRT Cantidad	Modelo LCD Cantidad
Uso de recursos renovables	kg	13.100	2.800
Uso de recursos no renovables	kg	668	364
Uso de energía	MJ	20.800	2.840
Residuos sólidos	m <sup>3</sup>	0,167	0,054
Residuos peligrosos	m <sup>3</sup>	0,016	0,003
Residuos radiactivos	m <sup>3</sup>	0,00018	0,00009
Emisiones de gases efecto invernadero	kg equivalentes de CO <sub>2</sub>	695	593

FUENTE: EPA (2001, 19).

Aquí conviene recordar la referencia que, páginas atrás, realizábamos al papel desempeñado por el continente africano y la conexión entre las exportaciones de minerales estratégicos procedentes de este territorio y el auge de la «nueva economía». No cabe olvidar que, por ejemplo, África aparece como el principal depósito de reservas de muchos minerales de trascendencia tecnológica a escala mundial —sólo un país como Sudáfrica acumula el 56% del Grupo Platino (platino, paladio, rodio, rutenio e iridio), el 80% del manganeso, etc—.

El caso del platino, por ejemplo, es muy revelador de las conexiones entre exportaciones minerales africanas y nuevas tecnologías: el aumento experimentado en el uso de este mineral desde el año 2000 ha corrido parejo al incremento en la demanda de ordenadores, en gran parte debido al consumo que realiza la fabricación de monitores con tecnología LCD (Liquid Crystal Display).

De igual modo, las ampliaciones de memoria y capacidad que se han desarrollado en los últimos tiempos han acarreado un aumento importante de la demanda de platino, hasta tal punto que, en 2000, se estimaba que el 90% de los discos duros de ordenador contenían esta sustancia (Mining Africa Yearbook, 2003). Tampoco hay que olvidar que el tantalio —generalmente en asociación con el coltán— es un material muy resistente al calor que se suele utilizar en la fabricación de componentes electrónicos y placas de circuitos de aparatos como los teléfonos móviles o los ordenadores

portátiles. Y en este caso, la República Democrática del Congo, que ocupa el cuarto lugar en las reservas de dicho mineral, viene jugando un importante papel como abastecedor (19).

Si bien en muchos de estos casos el impacto de la fase de producción es fundamental, cabe subrayar que, desde el punto de vista del deterioro ecológico en términos absolutos, la *fase de utilización* también aporta un coste ambiental relevante. Fundamentalmente, debido al uso generalizado de electricidad que soporta el funcionamiento de los ordenadores, Internet y otros equipos de oficina. Así se ha comprobado cuando se han querido transformar los requerimientos de energía y materiales en espacio ambiental, estimando que la huella ecológica de un ordenador personal se sitúa en torno a los 1.800 m<sup>2</sup>, siendo la fracción derivada del uso de energía mil veces mayor que la de cualquiera del resto de componentes (Frey y Harrison, 2000, citado en Plepys, 2002, 516).

En algunos casos como el estadounidense, la energía directa utilizada en estos aparatos se encuentra en el 2% del uso eléctrico total (siendo el sector comercial y de oficinas el responsable del 70% de esta cantidad) —llegando al 3% si se incluye la energía incorporada en la fabricación de los propios productos (Kawamoto *et al.*, 2001, 1)—. Por desgracia, hay ocasiones en que el progreso tecnológico se ha convertido en motivo de despilfarro adicional al fomentar «pérdidas eléctricas» asociadas al funcionamiento de posibilidades como el modo «off», que facilitan el

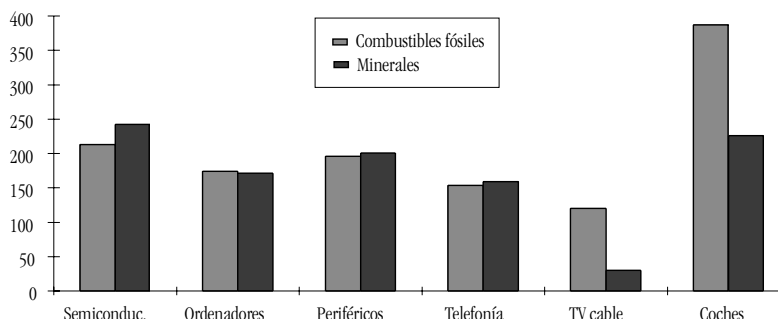
encendido automático, o por mando a distancia, de muchos aparatos informáticos, televisores, videos, equipos de música, etc. En algunos casos estas «pérdidas», según varias estimaciones, pueden alcanzar el equivalente al 5% del consumo eléctrico de los hogares, como en Estados Unidos, o llegar a los 10 TWh para el caso del continente europeo (20).

Profundizando aún más en la cuestión de los costes ambientales de la «nueva economía», en los últimos tres años se ha generado una rica polémica en torno a las primeras estimaciones de lo que acarrea, energéticamente hablando, el crecimiento explosivo en el uso de Internet. No es sencillo realizar estos cálculos, pues los resultados dependen en buena medida de las horas de uso del ordenador en conexión a la red, la potencia de los aparatos, etc.

El asunto, sin embargo, saltó a la palestra pública en 1999, cuando M. Mills publicó un controvertido informe donde, entre otras cosas, se recordaba que el origen *material* de Internet había que buscarlo en *el carbón quemado en las centrales térmicas para producir electricidad*, siendo «la red» responsable en 1998 del 8% del consumo de energía eléctrica en Estados Unidos, cifra que alcanzaba el 13% en el caso de incluir todos los consumos informáticos (Mills, 1999). En un ejemplo que ha resultado muy revelador, señalaba Mills: «por cada 2.000 kbytes que circulan por la red se consume la energía contenida en una libra de carbón (aproximadamente medio kilogramo) destinada a obtener los kwh de electricidad que hacen posible su difusión por Internet». El revuelo fue tal que los cálculos de Mills se vieron sometidos a fuerte crítica, rebajándose substancialmente por parte de investigadores del Berkeley National Laboratory (Koomey *et al.*, 1999) (21).

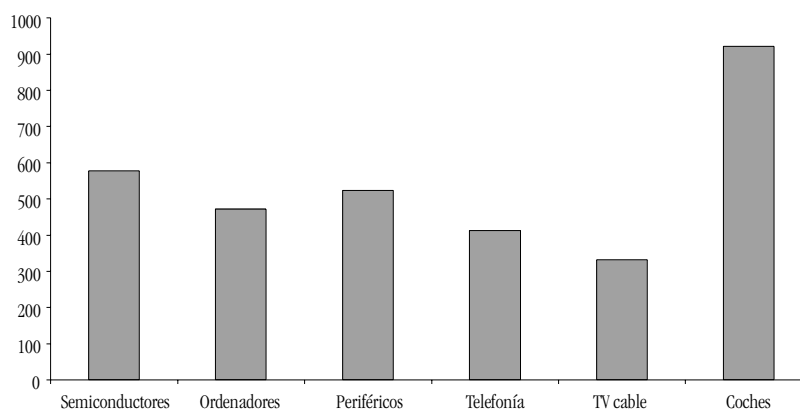
Como consecuencia de ello se redujo la estimación inicial de consumo desde los 295 TWh hasta los 36 TWh, esto es, un 88% menos, dejando la cantidad en el 1% del consumo eléctrico. Sin embargo, aunque parezca lo contrario, las nuevas cifras no dan tampoco demasiadas alas a la esperanza, habida cuenta que el tráfico en Internet se está duplicando cada seis meses aproximadamente (Roberts y Crump, 2001;

GRÁFICO 3  
REQUERIMIENTOS DE COMBUSTIBLES FÓSILES Y MINERALES  
EN LA PRODUCCIÓN DE BIENES INFORMÁTICOS Y DE TELECOMUNICACIONES  
TONELADAS POR MILLÓN DE DÓLARES



FUENTE: Green Design Initiative (2003). Las cifras de combustibles fósiles que en las versiones posteriores a 2000 del informe que ha servido como fuente aparecen en terajulios se han considerado en toneladas.

GRÁFICO 4  
EMISIONES RELATIVAS DE GASES CON EFECTO INVERNADERO PARA  
PRODUCTOS INFORMÁTICOS Y DE TELECOMUNICACIONES  
TONELADAS EQUIVALENTES DE CO<sub>2</sub> POR MILLÓN DE DÓLARES



FUENTE: Green Design Initiative (2003).

Pleypys, 2002, 517). Por ejemplo, en España hemos pasado de 242 mil usuarios de Internet en 1996 a 9,7 millones en 2003, lo que supone que en apenas siete años se ha multiplicado por 40 el volumen de utilización en cuanto a personas se refiere (AIMC 2004, 5). Y es previsible que este crecimiento «exponencial» vaya a demandar mayores y más veloces redes, así como ordenadores más rápidos y, por ende, mayor consumo de energía y materiales. Crecimiento, todo hay que decirlo, que se ve espoleado por la escasa vida media de los equipos, al estar las compañías informáticas embarcadas en una veloz carrera de obsolescencia planificada que lleva, por

ejemplo, a vidas medias de cuatro años para ordenadores personales, ya sean de mesa o portátiles (Kawamoto *et al.*, 2001, 15). Obsolescencia planificada que nos llevaría, precisamente, al comienzo, esto es, a las consecuencias derivadas del efecto rebote que podría incrementar el consumo de recursos más allá de las ganancias derivadas del incremento de la eficiencia.

Llegados, pues, a este punto, parece que se impone la prudencia a la hora de juzgar el papel ambiental desempeñado por las TIC. Si tratamos de recapitular y ordenar gráficamente los principales efectos ambientales que acompañan a la fabrica-

ción, uso y abandono de las nuevas tecnologías de la información y la comunicación, veremos que se pueden distinguir tres tipos de efectos, que hemos ido narrando con cierto detalle, y de los que participan, en mayor o menor medida, las actividades de esa «nueva economía», siendo Internet, el comercio electrónico, el teletrabajo o el uso masivo de aparatos informáticos los que representan el papel principal (cuadro 6).

•••••

## Á MODO DE CONCLUSIÓN

Con las páginas precedentes no quisiéramos dar la sensación de que los esfuerzos tecnológicos por mejorar la eficiencia en el aprovechamiento de los recursos naturales y la reducción de la contaminación no constituyan una valiosa aportación a la hora de paliar el deterioro ambiental y, por tanto, deban caer en saco roto. Sobre todo si pensamos que la transición hacia una economía sostenible ambientalmente va a necesitar de importantes innovaciones tecnológicas que generalicen y faciliten el uso de energías y materiales *renovables* en los procesos de producción y consumo, amén de las indudables ventajas que desde otros puntos de vista posee la utilización de las TIC.

Sin embargo, en lo que atañe a la sostenibilidad ambiental, hemos querido realizar una llamada a la prudencia poniendo de relieve que la terciarización de las sociedades o el progreso tecnológico incorporado en las telecomunicaciones y el uso generalizado de los diversos aparatos y servicios a ellas asociadas (ordenadores, comercio electrónico, Internet, etc.) no garantizan por sí solos menor deterioro ecológico, pues conllevan costes ambientales no despreciables en relación con los antiguos productos y materiales que vienen a sustituir —generando en muchos casos un efecto paradójico de «rebote» que transforma la eficiencia y el ahorro en un mayor consumo de recursos posterior—.

Así pues, ni la sustitución de nuevos materiales por viejos materiales a través del proceso descrito como «transmaterialización», ni la terciarización de las socieda-

des industriales, cuyo último episodio sería la llegada de la «nueva economía», han sido elementos que hayan llevado a la reducción del impacto ambiental globalmente. Sobre todo si pensamos que lo relevante desde el punto de vista ecológico no son tanto las reducciones relativas respecto al PIB sino las absolutas. Y aquí las mejoras tecnológicas han aparecido en general como una condición necesaria pero, lamentablemente, apenas suficiente para superar el desafío ambiental, desempeñando muchas veces, por desgracia, un papel contrario al inicialmente deseado.

Esto es algo que, por otro lado, ya supo intuir hace tres lustros el Informe Brundtland, cuando, después de pasar revista a los procesos parciales de desmaterialización en algunas economías industriales, concluía lo siguiente: «[aunque] algunos se han referido a estos procesos como el aumento de la “desmaterialización” de la sociedad y la economía mundial (...) aun las economías industrialmente más adelantadas dependen todavía de un suministro constante de bienes manufacturados básicos. Ya fabricados en el propio país, ya importados, su producción seguirá requiriendo grandes cantidades de materias primas y energía aun en el caso de que los países en desarrollo progresen rápidamente en la adopción de tecnologías eficientes en el uso de recursos» (CMMAD, 1988, 262).

Se entiende entonces que, para ir finalizando, traigamos a colación un ejemplo extraído de la vida cotidiana, con el que podíamos haber encabezado este artículo, y que recuerda bien la dimensión material presente en nuestras economías, a veces denominadas postindustriales o postmateriales:

«Imagine que cada mañana un camión le entrega en su casa todos los materiales que utiliza en un día, salvo la comida y el combustible. Apilados frente a la puerta están la madera de su periódico, los productos químicos de su champú y el plástico de las bolsas con las que lleva la compra a casa. También se incluye el metal de sus aparatos electrodomésticos y de su automóvil —sólo la parte que usa en un día de la vida total de di-

chos objetos—, al igual que su fracción diaria de materiales compartidos, como la piedra y la grava de las paredes de su oficina y de las calles por las que camina. En la parte de abajo del montón están los materiales que usted nunca ve, como el nitrógeno y la potasa empleados para cultivar sus alimentos, y la tierra y las rocas bajo las que estuvieron enterrados sus metales y minerales. Si es usted un estadounidense medio, esta entrega será pesada: 101 kg, el peso aproximado de un varón de talla grande. Pero la cuenta de sus materiales sólo acaba de empezar. Mañana llegarán otros 101 kg, y al día siguiente, otros tantos. A final de mes, usted habrá utilizado tres toneladas de material, y al cabo de un año, 37 toneladas. Y si sus 270 millones de compatriotas hacen lo mismo, día si y día también, todos juntos devoran casi 10.000 millones de toneladas de material en un año» (Gardner y Sampat, 1999, 91).

Este paradójico resultado en plena era de la economía *digital* tiene mucho que ver con la existencia de un marco institucional que estimula el ya mencionado «efecto rebote» y los comportamientos generalizados de excesos en el consumo y de «obsolescencia planificada» en la producción. Comportamientos que acaban apoyando, vía precios, la extracción masiva y el consumo de recursos naturales frente a estrategias de conservación, reciclaje y reutilización y renovabilidad de los mismos. Hace años Walter Radermacher recordaba que ese efecto rebote era una trampa en la cual llevábamos cayendo desde los albores de la revolución industrial y lo seguiríamos haciendo en el futuro, pues «...las fuerzas del mercado y la aparentemente ilimitada capacidad humana para el consumo utilizarán de nuevo la tecnología para transformar más y más recursos en más y más actividades, servicios y productos» (Radermacher, 1996; Hilty y Rudy 2000, 12). Cambiar las reglas del juego para que las mejoras tecnológicas previsibles en el futuro (nanotecnologías, etc.) no exacerben la capacidad de producción y consumo y se pongan al servicio de la reducción del deterioro ecológico constituye, sin embargo, una auténtica piedra de toque de las políticas ambientales actuales y futuras.



el uso de un agente tan poderoso» (Jevons, 1865, [2000], 165-166). A lo que añade: «es completamente una confusión de ideas suponer que el uso económico del carburante equivale a un consumo disminuido. La verdad es todo lo contrario (...). Es la misma economía de su utilización la que lleva a su consumo extensivo. Ha sido así en el pasado y será así en el futuro. Ni siquiera es difícil ver cómo surge esta paradoja» (Ibid, 161).

(13) Éste sería sólo el efecto precio puro causante del efecto rebote, pero la literatura ha diferenciado una variedad mayor de efectos desencadenantes (renta, secundarios, globales, de transformación, etc.). Una correcta sistematización de los mismos se puede hallar en Greening *et al.* (2000, 390-392).

(14) Esto no significa, sin embargo, que caigan en saco roto los propósitos de utilizar la tecnología para reducir en un Factor 10 (Declaración de Carnoules, Schmidt-Bleek, 1993) o, más comedidamente, en un Factor 4 (Weiszäcker y Lovins, 1996), los flujos de energía y materiales en la producción de bienes y servicios en términos absolutos. Tan sólo que es preciso acompañarlos con otras medidas que tiendan a reducir el consumo de los propios objetos, puesto que ahora sabemos más que antes: sabemos que tecnológicamente es posible. La cuestión es evitar, en este caso, que por aumentos en el consumo, el saldo de la operación sea finalmente negativo para el medio ambiente. Y en esto, el marco institucional suele favorecer uno u otro tipo de resultado. De hecho, si hacemos caso a Schmidt-Bleek —que fue el primero en poner en circulación la sugerencia—, se trataría de reducir en un «Factor de 10» los flujos de energía y materiales en los próximos 100 años, como única forma de hacer compatible a largo plazo la vida humana en el planeta (Schmidt-Bleek, 1993, 167-173). Esto se lograría gracias a las mejoras en la eficiencia en el uso de los materiales y la energía y la eliminación de mecanismos perversos como las subvenciones que incentivan el uso masivo de recursos, lo que permitiría seguir manteniendo los niveles de bienestar reduciendo la utilización de los recursos. En los primeros cincuenta años, la reducción alcanzaría el 50% del objetivo a nivel global, dejando el resto para la segunda parte del período. Naturalmente, para lograr esa meta, Schmidt-Bleek plantea estrategias diferentes según hablemos de países ricos o países pobres. Sobre todo porque en el punto de partida los primeros utilizan el 80% de los recursos, dejando para la mayoría de la población mundial que habita en los segundos, el 20% restante. Así, los países ricos deberán alcanzar el Factor 10 de reducción en 50 años, mientras que las naciones pobres podrán aumentar su consumo de recursos hasta el 40% del total, comenzándose a aplicar las rebajas por aumento de la eficiencia a partir de ese momen-

to y hasta el final del período (Schmidt-Bleek, 1993, 169). Para contribuir a la difusión internacional de la propuesta, el científico alemán fundó en 1994 el «Club Factor 10» que agrupa desde entonces a los investigadores más prestigiosos en el campo de los estudios ambientales, y que ha divulgado sus principios a través de la «Declaración de Carnoules». Entre los miembros del Club se encuentran científicos como Herman Daly, R. U. Ayres, Wolfgang Sachs, E.U. von Weiszäcker, etc. Una lista completa de los miembros se puede consultar en Schmidt-Bleek (1998, 286-288).

(15) No obstante, parece que las tendencias a la reducción del peso y consumo de recursos, así como a la duplicación de la capacidad de los chips encontrará un tope, tal y como lo conocemos, en 2010, debido a que la materia se comporta de forma diferente por debajo de los 100 nanómetros (Hilty *et al.*, 2000, 4).

(16) Además, a la hora de cuantificar los ahorros es preciso tener en cuenta el sistema de desplazamiento (automóvil privado, transporte público, bicicleta o caminando), pues los costes energéticos difieren considerablemente.

(17) Cabe señalar que las discrepancias a este respecto son fuertes. Por ejemplo, la estimación de Mills de 1,5 millones de vatios (5,4 GJ), (Mills, 1999) es inferior a la citada por nosotros en el texto, al igual que la de Valero (2002), que aporta un valor medio de un millón de vatios (3,6 GJ). En todo caso, ambas superiores a la ofrecida por Tekawa (300 kwh = 1,08 GJ), (Tekawa 1997, citado en Koomey *et al.*, 1999, 8). Aparte de las diferencias metodológicas, en los dos primeros casos se mezcla el consumo de energía eléctrica *final* (sin estar claro si se refieren sólo a la etapa de fabricación o a todo el ciclo de vida), lo que transformado a energía primaria con una eficiencia de un tercio, nos aproximaría algo más a la cifra de energía *primaria* manejada más arriba. Cabe señalar que, a pesar de todo, la estimación de 10-12 GJ estaría todavía muy por debajo de los 20,8 GJ de energía incorporada al ciclo de vida (extracción, fabricación, uso y deposición) de un *monitor* (CRT) de ordenador de mesa —si hemos de hacer caso al estudio realizado al efecto por la EPA estadounidense (EPA, 2001, 9)—. De esta forma se acabaría dando la razón a Grote cuando, hace ya unos años, estimaba el consumo de energía para un PC, en todas sus fases, en 37,5 GJ (Grote, 1994, 1995, citado por Hilty, *et al.*, 2000, 2).

(18) Estas cifras deberían servir también para relativizar los costes ambientales asociados a otra actividad que ha venido proliferando con fuerza al apoyarse en la utilización de aparatos informáticos: la expansión de la formación y educación «en red» o «virtual». Como han demostrado Herring y Roy, cuando se comparan tres sistemas de docencia universitaria alternativos como el presencial (campus), a distancia

con soporte de papel, y a distancia con soporte electrónico, se llega a la conclusión de que es preferible el segundo sistema, habida cuenta el importante coste ambiental incorporado en los ordenadores (Herring y Roy, 2002, 529 y ss.). (19) He desarrollado esta cuestión en Carpintero (2004b).

(20) Las dos referencias se recogen en Floyd y Weber (1999, 1), donde se analizan 600 productos diferentes (vídeos, televisores, ordenadores, frigoríficos, etc.) llegándose a la conclusión de que el consumo medio del modo «pre-encendido» es de 4 vatios por aparato, aunque en 38 productos llega a ser mayor a 10 vatios (ibid, 11).

(21) Entre otras cosas, se vio que Mills había confundido los «servidores» con el número de páginas web, además de adoptar otras hipótesis algo arriesgadas en relación con el consumo de las centrales telefónicas, de las horas de utilización de los ordenadores, etc.

## BIBLIOGRAFÍA

- ADRIAANSE, A, BRINGEZU, S., HAMMOND, A., MORIGUCHI, Y., RODENBURG, E., ROGICH, D. y SCHÜTZ, H. (1997): *Resource flows: the material basis of industrial economies*, World Resources Institute, Wuppertal Institute, Netherland Ministry of Housing Spatial Planning and Environment, National Institute of Environmental Studies.
- AIMC (2004): *Navegantes en la red*, (<http://www.aimc.es>).
- ARROW, K. *et al.* (1995): «Economic Growth, carrying capacity, and the environment», *Science*, 268, pp. 520-521.
- BERNARDINI, O y GALLI, R. (1993): «Dematerialization: Long-Term Trends in the Intensity of Use of Materials and Energy», *Futures*, mayo, pp. 431-448.
- BINSWANGER, M. (2001): «Technical progress and sustainable development: what about the rebound effect?», *Ecological Economics*, 36, pp. 119-132.
- BUNKER, S. (1996): «Materias primas y economía global: olvidos y distorsiones de la ecología industrial», *Ecología Política*, 13, pp. 81-89.
- CARPINTERO, Ó, (1999): *Entre la economía y la naturaleza*, Madrid, Los Libros de la Catarata.
- CARPINTERO, Ó, (2002): «La economía española: el «dragón europeo» en flujos de energía, materiales y huella ecológica, 1955-1995», *Ecología Política*, 23, pp. 85-125.
- CARPINTERO, Ó, (2004a): *El metabolismo económico de España: Flujos de energía, materiales y huella ecológica (1955-2000)*, Colección Economía versus Naturaleza, Fundación César Manrique, Lanzarote (en prensa).
- CARPINTERO, Ó, (2004b): «África como abastecedora de minerales estratégicos», en



ICEX/ICEI (2004): *Claves de la economía mundial 2004*, Madrid (en prensa).

CASTELLS, M. (1997): *La era de la información*, vol. 1, Madrid, Alianza.

CLEVELAND, C y RUTH, M. (1999): «Indicators of Dematerialization and the Materials Intensity of Use», *Journal of Industrial Ecology*, vol 2, nº 3, pp. 15-50.

CMMAD (1988): *Nuestro Futuro Común*, Madrid, Alianza.

DE BRUYN, S., VAN DEN BERGH, J. y OPSCHOOR, H. (1997): «Structural change, growth, and dematerialization: an empirical analysis», en Van den Bergh, J. y Van der Straaten, J. (eds.), (1997): *Economy and ecosystems in change*, Cheltenham, Edward Elgar, pp. 201-228.

DE BRUYN, S. y HEINTZ, R. J. (1999): «The environmental Kuznets curve hypothesis», en Van den Bergh, J. (ed.) (1999): *Handbook of Environmental and Resource Economics*, Cheltenham, Edward Elgar, pp. 656-677.

DE BRUYN, S. M. y OPSCHOOR, J. B. (1997): «Developments in the throughput-income relationship: theoretical and empirical observations», *Ecological Economics*, 20, pp. 255-268.

DIGITAL EUROPE (2002): *Virtual dematerialization: ebusiness and factor X*, Interim Report. Information Society Technologies.

EKINS, P. (1997): «The Kuznets Curve for the environment and economic growth: examining the evidence», *Environment and Planning*, 29, pp. 805-830.

EPA. (2001): *Desktop Computer Displays: A Life Cycle Assessment. Executive Summary*, (www.epa.gov).

FICHTER, K. (2002): «Sustainable business strategies in the internet economy», en Park, J. y Roome, N. (eds.) (2002): *The Ecology of the New Economy*, Sheffield, Greenleaf Publishing, pp. 22-34.

FICHTER, K. (2003): «E-Commerce. Sorting out the Environmental Consequences», *Journal of Industrial Ecology*, vol. 6, nº 2, pp. 25-41.

FLOYD, D. B. y WEBER, C. (1999): «Leaking Electricity: Individual Field Measurement of Consumer Electronics» (http://www.enduse.lbl.gov).

GALEA, C. H. y WALTON, S. (2002): «Is e-commerce sustainable?», en Park, J. y N. Roome (eds.), (2002): *The Ecology of the New Economy*, Sheffield, Greenleaf Publishing, pp. 100-109.

GARD, D. L. y KEOLEIAN, G. A. (2003): «Digital versus Print: Energy Performance in the Selection and Use of Scholarly Journals», *Journal of Industrial Ecology*, vol. 6, nº 2, pp. 115-131.

GARDNER, G. y SAMPAT, P. (1999): «Hacia una economía de materiales sostenible», en Lester R. Brown et al. (1999): *La situación del mundo*, Anuario del Worldwatch Institute, Madrid, Icaria-FUHEM.



GREEN DESIGN INITIATIVE (2003): *Economic Input-Output Life Cycle Assessment Model*, Carnegie Mellon University, (http://www.eiolca.net).

GREENING, L. A., GREENE, D. L. y DIFIGLIO, D. (2000): «Energy efficiency and consumption—the rebound effect—a survey», *Energy Policy*, 28, pp. 389-401.

HEINONEN, S., KOKINEN, P. y KAIVO-OJA, J. (2001): «The ecological transparency of the information society», *Futures*, 33, pp. 319-337.

HEISKANEN, E. y JALAS, M. (2000): *Dematerialization Through Services. A Review and Evaluation of the Debate*, The Finish Environment, 436.

HERMAN, R., ARDEKANI, S. A. y AUSUBEL, J. H. (1989): «Dematerialization», en: National Academy of Engineering, (1989): *Technology and Environment*, National Academy Press, pp. 50-69.

HERRING, H. y ROY, R. (2002): «Sustainable services, electronic education and the rebound effect», *Environmental Impact Assessment Review*, 22, pp. 525-542.

HILTY, L. M., RUDDY, T. H. y SCHULTHNESS, D. (2000a): «Resource Intensity and Dematerialization Potential of Information Society Technologies», *Solothurn University of Applied Sciences Northwestern Switzerland. Discussion Paper 2000-01* (www.fhso.ch/pdf/publikationen/).

HILTY, L. M. y RUDDY, T. H. (2000): «The information Society and Sustainable Development», *Solothurn University of Applied Sciences Northwestern Switzerland. Discussion Paper 2000-03* (www.fhso.ch/pdf/publikationen/).

HILTY, L. M. y GILGEN, P. W. (eds.) (2001): *Sustainability in the Information Society*, Marburg, Metropolis Verlag.

HUMPHREYS, D. y BRIGGS, S. (1983): «Mineral Consumption in the U.K. 1945-1980: A Statistical Analysis», *Resources Policy*, 9, pp. 4-22.

JÄNICKE, M. et al. (1989): «Economic structure and environmental impacts: East-West comparisons», *Environmentalist*, 9, pp. 171-182.

JESPERSEN, J. (1994): «Reconciling environment and employment. Switching from goods to services?», Paper presentado al *Eco-Efficient Services Seminar*, Wuppertal Institute, Alemania.

JEVONS, W. S. (2000): *El problema del carbón*, Madrid, Pirámide (e.o. 1865).

JOKINEN, P., MALASKA y KAIVO-OJA, P. J. (1998): «The environment in a 'information society'», *Futures*, 30, pp. 485-498.

KAWAMOTO, K. et al. (2001): «Electricity Used by Office Equipment and Network Equipment in the U.S.: Detailed Report and Appendices», *LBNL-45917* (www.enduse.lbl.gov).

KHAZZOOM, D. J. (1980): «Economic implications of mandated standards for household appliances», *Energy Journal*, 1, pp. 21-40.

KOOMEY, J., KAWAMOTO, K., NORDMAN, B., PIETTE, M. A. y BROWN, R. E. (1999): «Initial comments on "The Internet begins with coal"», *Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory*, (www.enduse.lbl.gov).

LABYS, W. C. (2002): «Transmaterialization», en Ayres, R. U. y Ayres, L. W. (eds.) (2002): *Handbook of Industrial Ecology*, Cheltenham, Edward Elgar, pp. 202-208.

LABYS, W. C. y WADDELL (1989): «Commodity lifecycles in U.S. materials demand», *Resources Policy*, 15, pp. 238-252.

LARSON, E. et al. (1986): «Beyond the Era of Materials», *Scientific American*, 254, pp. 34-41.

MALEMBBAUM, W. (1978): *World Demand for Raw Materials in 1985 and 2000*, MacGraw-Hill, Nueva York.

MALLEY, M. (1998): «Ein einfacher PC mit Bildschirm verbraucht 19 Tonnen Ressourcen», *Telepolis aktuell*, (http://www.heise.de/tp/deutsch/inhalt/te/1367/1.html).

MARTÍNEZ ALIER, J. y SCHLÜPMANN, K. (1991): *La ecología y la economía*, Madrid, FCE.

MARVIN, S. (1997): «Environmental flows. Telecommunications and the dematerialization of cities?», *Futures*, 29, pp. 47-65.

MATTHEWS, E. et al. (2000): *The weight of nations. Material outflows from industrial economies*, World Resources Institute, Washington, D. C.

MATTHEWS, H.S. y HENDRICKSON, C. T. (2001): «Economic and Environmental Implications of Online Retailing in the United States», en HILTY, L. M. y GILGEN, P. W. (eds.) (2001): *Sustainability in the Information Society*, Marburg, Metropolis Verlag, vol. I, pp. 65-72.

MEADOWS, D & D y RANDERS, J. (1992): *Más allá de los límites del crecimiento*, Madrid, El País-Aguilar.

- MILLS, M. P. (1999): *The Internet Begins with Coal: a preliminary exploration of the impact of Internet on electricity consumption*, The Greening Earth Society, Arlington.
- MINING AFRICA YEARBOOK (2003): *FAQ, Mines, Mining And Exploration in Africa*, (<http://infomine-africa.com>).
- NORGARD, J. (1998): «Tecnología eficiente en una economía ineficiente» en Riechmann, J. (coord.) (1998): *Necesitar, desear vivir*, Madrid, Los Libros de la Catarata.
- OCDE/IEA (2000): *Energy Balances of OECD Countries, 1997-1998*, París.
- PARK, J. y ROOME, N. (eds.) (2002): *The Ecology of the New Economy*, Sheefield, Greenleaf Publishing.
- PINCTION, T. y DANIELS, P. L. (1999): «Ecological restructuring for sustainable development: evidence from the Australian economy», *Ecological Economics*, 29, pp. 405-425.
- PLEPYS, A. (2002): «The grey side of ICT», *Environmental Impact Assessment Review*, 22, pp. 509-523.
- ROBERTS, J. T. y GRIMES, P. (1997): «Carbon intensity and economic developments 1962-1991: a brief exploration of the environmental Kuznets curve», *World Development*, 25, pp. 191-198.
- ROPKE, I. (2001): «Is consumption becoming less material? The case of services», *International Journal of Sustainable Development*, 4, (1), pp. 33-47.
- SCHIPPER, L. y GRUBB, M. (2000): «On the rebound? Feedback between energy intensities and energy uses in IEA countries», *Energy Policy*, 28, pp. 367-388.
- SCHMIDT-BLEEK, F. (1994): *Wieviel Umwelt braucht der Mensch*, Birkhäuser Verlag.
- SCHMIDT-BLEEK, F. (1998): *Das MIPS-Konzept*, Droemer Verlag.
- STILLER, H. (1999): *Material Intensity of Advanced Composite Materials*, Wuppertal Papers, 90.
- TILTON, J. (ed.) (1990): *World Metal Demand, Resources for the Future*, Washington, D. C.
- VALERO, M. (2002): «Coste energético de la revolución informática», *Revista de Libros*, mayo, pp. 30-31.
- WADELL, L. M. y LABYS, W. C. (1988): «Transmaterialization: Technology and materials demand cycles», *Materials and Society*, 12, pp. 59-85.
- WEISZÄCKER, E. U. y LOVINS, H. (1996): *Factor 4. Duplicar el bienestar con la mitad de los recursos naturales*, Barcelona, Círculo de Lectores-Galaxia Gutemberg.
- WERNICK, I. K. et al. (1996): «Materialization and dematerialization», *Daedalus*, 125, pp. 171-198.
- WILLIAMS, R. H., LARSON E. D. y ROSS, M. H. (1987): «Materials Affluence, and Industrial Energy Use», *Annual Review of Energy*, 12, pp. 99-144.
- WILLIAMS, E. y TAGAMI, T. (2001): «Energy analysis of e-commerce and conventional retail distribution of books in Japan», en HILTY, L. M. y GILGEN, P. W. (eds.) (2001): *Sustainability in the Information Society*, Marburg, Metropolis Verlag, vol. I, pp. 73-80.
- WILLIAMS, E. y TAGAMI, T. (2001): «Energy Use in Sales and Distribution via E-Commerce and Conventional Retail», *Journal of Industrial Ecology*, vol. 6, nº 2, pp. 99-113.