

S1 Energía y Desarrollo Social

ANTONIO VALERO, valero@posta.unizar.es
Zaragoza (España), marzo de 2004.

ANTONIO VALERO es químico, catedrático del *Centro Politécnico Superior de Zaragoza*, director del Centro de Investigación del Rendimiento de Centrales Eléctricas (CIRCE). Premiado por sus investigaciones en variadas ocasiones, su curriculum investigador no admite resumen. Pensador incansable sobre la termoeconomía, la irreversibilidad y el tiempo, paseante y contable de los recursos naturales del planeta, ha puesto a nuestra disposición un mundo práctico de energía útil (exergía) e inútil, mucho más comprensible que aquél otro de la inasible entropía. (Mariano Vázquez).

Introducción	27
Repercusiones del consumo energético	27
El problema de la transferencia de responsabilidades	30
La relación entre el coste energético y el valor monetario. <i>La Regla del notario</i>	31
Energía y materiales	33
¿Cual es el capital mineral de la Tierra?	38
Energía y Desarrollo social	42

Introducción

Según el Consejo Mundial de la Energía, el consumo de energía primaria per cápita de un europeo occidental fue, en promedio, de 3,22 tep (toneladas equivalentes de petróleo) en 1990. En términos cotidianos, si toda la energía fuera de origen fósil y se consumiera para producir electricidad en una planta térmica convencional daría para alumbrar 15 bombillas de 100W, día y noche durante todo un año. Si la misma energía fósil la utilizáramos para mover un sólo vehículo que consumiera 10 litros de gasolina cada 100km, entonces podríamos recorrer unos 36.000 kilómetros. Si esta energía la pagáramos al precio de barril de crudo (aproximadamente 30 dólares estadounidenses/barril) supondría unas 131.000 ptas/año o 789 euros/año.

Estos números no son valores aparentemente elevados. Sin embargo, los cuatrocientos cincuenta millones de europeos producimos 3,2 gigatoneladas de CO₂; 10,4 megatoneladas de SO₂ y 3,7 megatoneladas de óxidos de nitrógeno de emisiones a la atmósfera (INSTITUTO DE RECURSOS MUNDIALES, 2000), con los consiguientes efectos de daño medioambiental suficientemente bien conocidos. Si nuestro europeo occidental medio tuviera que almacenar todo el anhídrido carbónico que produce directa o indirectamente, tendría que disponer de un volumen equivalente a 1500m² de vivienda (altura de la vivienda 2,5m y el gas almacenado en condiciones normales).

La energía mueve el mundo y sin embargo su valor medido en términos monetarios es netamente inferior a su coste físico. Los costes físicos de la energía de origen fósil son de tres tipos: el primero es el del agotamiento de recursos no renovables; el segundo, es el impacto sobre la salud y el clima de las emisiones producidas en su uso, transporte y transformación; y el tercero, es la destrucción progresiva y sistemática de los biotopos naturales de donde se extraen los combustibles fósiles.

Son costes reales que tarde o temprano pagaremos. ¿Cuánta energía necesita la humanidad para su desarrollo? ¿Cuánta energía de origen fósil hay disponible? ¿Cuál es el impacto del consumo intensivo de energía? Estas son algunas de las preguntas cuya respuesta analizo en este artículo.

Repercusiones del consumo energético

Como consumidores finales de una sociedad desarrollada no notamos excesivamente el impacto de la factura energética sobre nuestro bolsillo. Una simple cuenta de lo que pagamos por calefacción, suministro eléctrico y transporte nos indica que pagamos menos de un 10 o un 15 % de nuestros ingresos por la energía directa que consumimos. De estos números parece deducirse que un incremento de un 50 % en la factura energética no nos afectaría mucho más que entre un 15 % y un 18 % del total de nuestros ingresos. Con ser mucho, aún podremos soportarlo. En otras palabras, aparentemente la energía no es un problema mayor para el usuario final. Existe seguridad de suministro entre las diversas fuentes y hay competencia creciente, lo que asegurará la contención de los precios en un plazo medio, a pesar de una nueva y temida crisis petrolera que se ha producido en el 2000. A los

precios de 30–35 dólares estadounidenses del barril de petróleo la energía no supone más de un 5–7 % de nuestro producto interior bruto. Parece pues que los gobiernos no están excesivamente preocupados por los incrementos del precio del petróleo que se están registrando en este cambio de milenio.

Lo sorprendente es que a nivel mundial, la situación es parecida. Así, con un consumo de 1,66 tep per cápita y una renta per cápita global de 4.880 dólares (INSTITUTO DE RECURSOS MUNDIALES, 2000) el gasto promedio por energía de un ciudadano de la Tierra es un 7 % de la media de sus ingresos. Es evidente que existen profundas desigualdades, pero no toda la energía se paga a 30–35 dólares estadounidenses el barril. La energía autóctona es más barata.

Y cada país ya se encarga de explotar sus propios recursos con objeto de disminuir sus importaciones. Así que estos números, aunque groseros, llevan un mensaje *aparente*: la energía no supone un riesgo mayor para la economía mundial, ni para las economías de la mayor parte de los países, ni para los ciudadanos. En consecuencia, los gobernantes deben mostrar una preocupación moderada, concentrada sobre todo en amortiguar subidas abruptas de los precios que tengan efectos inflacionarios peligrosos.

El mensaje es claro: la energía ha dejado de ser un problema tanto en la mente de los ciudadanos como en la de los gobernantes. Una subida de los precios de la energía hará que se hagan rentables otras fuentes de explotación energética y ello provocará la diversificación de la oferta tendiendo a equilibrar los precios. Las leyes del mercado harán que el sistema de precios alcance siempre un equilibrio entre la oferta y la demanda.

¿Es cierto este panorama tan optimista? Desafortunadamente no, porque la energía subyace en todas nuestras actividades. No es la energía que consumimos directamente la que nos debe preocupar sino la indirecta, es decir, la energía utilizada en producir todos los productos y servicios que consumimos.

Cuando compramos alimentos, agua, productos de limpieza, ropa, prensa y libros, muebles, vivienda, automóviles, etc, o cuando disponemos de servicios públicos como educación, sanidad, seguridad social, defensa o infraestructuras o cuando compramos servicios como espectáculos, o información o seguridad etc, estamos adquiriendo energía incorporada.

Independientemente del contenido energético que lleve un determinado producto o servicio, lo que importa, lo que aquí nos importa, es su coste energético, es decir, las cantidades de energía que han sido necesarias para producirlo.

No obstante, el panorama aún no está completo. Cuando utilizamos algo, después de una vida media más o menos corta lo deseamos. Y para desechar un producto también se necesita energía. Por tanto, en el coste energético de un producto o servicio debe contabilizarse también la energía necesaria para desecharlo. De igual forma, si durante su vida útil se ha necesitado energía para mantenerlo y repararlo, también ésta debe contabilizarse. En otras palabras, el coste energético de un producto o servicio debe contabilizarse *desde la cuna hasta la tumba*, es decir, a lo largo de su ciclo de vida útil. Las basuras y la energía necesaria para deshacernos de ellas también cuentan como servicio.

Resulta curioso que si un europeo medio consume por todos estos conceptos 3,22 toneladas equivalentes de petróleo al año e ingiere 3000 kcal/día en su dieta diaria, es decir, 0,11 tep/año, consume treinta veces más energía exosomática que la que realmente necesita para sus actividades estrictamente biológicas. Ni a lo largo de la historia ni en toda la geografía mundial ésta ha sido la pauta. Nuestra sociedad consume mucha más energía que la que se necesita estrictamente para vivir. Si los antiguos romanos tenían esclavos que les servían, hoy tenemos el equivalente a treinta esclavos mecánicos que nos transportan, alimentan, nos protegen del frío o del calor, nos dan seguridad, nos informan y nos defienden. El cristianismo abolió la esclavitud. ¿Podremos en el futuro paliar, al menos, la esclavitud mecánica a que hemos sometido el mundo natural?

Desde la década de los setenta, ha sido común correlacionar el Producto Interior Bruto (PIB) con el consumo energético de los países. En un principio era síntoma de país en desarrollo ver que sus consumos energéticos crecían. Ello es cierto. Más infraestructuras, más vehículos, calefacción, electrodomésticos y más tarde aire acondicionado, demandan más energía y además de mayor calidad. Se pasó de una economía tradicional basada en la combustión de biomasa a una economía que hace un uso generalizado de la electricidad y de los combustibles fósiles, tanto para la automoción como para su uso industrial. Por otra parte, un mayor consumo significa más fibras artificiales para satisfacer la demanda de ropa, mayores desplazamientos tanto laborales como recreativos, mayor superficie de vivienda y más servicios en general. El bienestar de un país, en mejor o peor forma, se asocia con un incremento de la renta y éste lleva consigo un aumento de consumo de energía per cápita.

Sin embargo, aparecen varios fenómenos que distorsionan esta tendencia: los países en desarrollo disponen, en general, de una tecnología menos eficiente y ello implica mayor gasto energético para obtener los mismos servicios. Las plantas de producción eléctrica, las cementeras, la creación de infraestructuras, la industria en general, están menos automatizadas, son más consumidoras de mano de obra poco preparada y ello conlleva menores eficiencias. Por lo tanto, este fenómeno produce un incremento del consumo energético mucho mayor que el aumento de bienestar de la población que cabría esperar. El segundo fenómeno es más perverso. Los países más desarrollados no ven ventajas económicas en producir bienes de elevado coste energético por unidad de producto y su consiguiente coste medioambiental asociado. Cada vez más, la producción de vidrio, cemento, papel, productos

químicos, acero, aluminio, e incluso alimentos básicos muy intensivos en consumo de recursos, como el azúcar, tienden a desplazarse fuera de los países desarrollados.

Los efectos son dobles. De una parte, los países en vías de desarrollo asumen una industria de transformación de materias primas con elevados impactos medioambientales pero, a cambio, entran en la rueda del desarrollo. Y de la otra, los países ricos se descontaminan, mejoran sus índices energéticos y al estimular la competencia entre países con legislaciones medioambientales más laxas, inducen una reducción de los precios de estas materias primas muy por debajo de los costes, no sólo sociales sino medioambientales, que deberían pagar si esa producción se realizara allí donde las mercancías se consumen. El resultado es una transferencia neta de intensidad energética entre los países ricos y los que están en vías de desarrollo. Los balances energéticos de los países deberían realizarse atendiendo, no sólo a las importaciones, exportaciones y consumos de productos energéticos, sino considerando también la energía incorporada, al menos, en algunos productos de elevada intensidad energética como cemento, acero, aluminio, papel, vidrio y otros.

En los últimos treinta años, el uso global de la energía ha aumentado casi un 70 %. Pero este crecimiento es desigual, así, los países en desarrollo casi han triplicado su consumo energético, mientras que en los países industriales éste sólo aumentó un 21 %. La energía que el mundo consume crece a mayor ritmo que la riqueza o la población porque en los países en desarrollo se concentra el 77 % de la población mundial. Por otra parte, los países de la OCDE han disminuido su intensidad energética o uso de energía por unidad de PNB en un 24 % desde 1973. La demanda de energía ha aumentado en más de un 2 % anual desde la crisis de 1973 hasta hoy y, si siguen las tendencias actuales, este ritmo continuará en los próximos quince años (BROWN Y OTROS, 2000).

Si los combustibles fósiles proporcionan el 90 % de la energía comercial del mundo, es evidente que las emisiones de gases de efecto invernadero van a crecer al mismo ritmo al que se incrementa la demanda, incluso más, porque los países asiáticos basan su producción eléctrica en las centrales de carbón, que al tener peor rendimiento que las plantas de gas natural aumentan notablemente las emisiones.

Se espera que para el año 2010 los países en vías de desarrollo consuman el 40 % de la energía comercial del mundo. La concentración de la población en grandes urbes que se da precisamente en estos países no permite el uso de las energías tradicionales (madera, agua o energía animal), lo cual aumenta su consumo de energía comercial y su dependencia de los combustibles fósiles.

Sea por el fenómeno de la urbanización que extiende la industria y sus infraestructuras y con ellos el poder adquisitivo de sus familias que adquieren vehículos, electrodomésticos y servicios, o bien, por el fenómeno de la globalización que incrementa los usos del transporte, las cadenas de frío, la producción de alimentos y los bienes de consumo lejos de donde se demandan, el consumo energético global va a incrementarse en las próximas décadas. ¿Pueden la naturaleza y el planeta que nos acoge soportar esta presión cada vez mayor?

Antes de responder a esta pregunta es importante ahondar en las causas materiales del consumo energético. No parece razonable que si pudiéramos consumir menos con un consiguiente menor daño a la naturaleza, no lo hiciéramos. Nuestra sociedad está asentada en la ineficiencia energética y material. Como no pagamos a la naturaleza por su uso y consumo, tomamos de ella lo que nos parece y al cabo de pocos usos, los materiales vuelven a la tierra en forma de emisiones, inmisiones y desechos que tampoco pagamos. Cuando pagamos por los recursos naturales o por contaminar, en realidad, no estamos cancelando una deuda con la naturaleza sino que pagamos al propietario de los terrenos donde esos recursos se asientan, a la empresa que los extrae o al Estado que impone una tasa por los desechos. Pero la naturaleza no entiende de dinero sino de acciones y reacciones. Si un sistema físico en equilibrio es perturbado, en función de la magnitud de esa perturbación, volverá a su equilibrio original o saldrá de él para encontrar un nuevo estado de equilibrio. Dada la complejidad de la naturaleza y la fragilidad de sus interacciones geobiológicas, cualquier perturbación deja una huella que desplaza el equilibrio. Si no somos capaces de comprender cuáles son las consecuencias de nuestras perturbaciones y cómo minimizarlas, es absolutamente temerario realizarlas. Durante miles de años los seres humanos han extraído materiales y se han aprovechado de las fuentes energéticas que la naturaleza disponía: el agua, el sol, la madera e incluso el carbón. Sin embargo, al aumentar el número de personas y las utilidades que hemos querido extraer de la Tierra, las perturbaciones que estamos infligiendo se han incrementado en varios órdenes de magnitud. A. HUXLEY (1959) dijo: «El hombre es la fuerza geológica más importante del planeta».

La destrucción de la capa de ozono, el cambio climático global, la contaminación de la atmósfera y de los mares, la desaparición de la biodiversidad o la destrucción de los bosques tropicales no son perturbaciones menores y no existe ningún gobierno ni acuerdo global por el cual se realice una compensación física a la naturaleza. Suena incluso extraño reclamar esto, porque no entendemos más que de dinero. No existe ninguna compañía de seguros que asegure a la naturaleza, en todo caso nos aseguramos de la naturaleza, es decir, de las catástrofes que pueda ocasionarnos. Tendemos a aceptar estas catástrofes como *naturales*, con un cierto sentido de fatalidad, pensando que siempre ha sido así y seguirá siendo. Además, siempre existirá la voz de algún grupo de científicos que en aras a una defensa del rigor ponga en duda la causalidad humana, mediata o inmediata, de las catástrofes. Así que el *principio de precaución* que debería presidir cualquier acción social es obviado porque siempre existirá incertidumbre en la toma de decisiones, siempre habrá intereses creados que harán de las opiniones científicas

discrepantes una bandera y siempre serán muy costosas las decisiones de compensar a la naturaleza. Y, al fin y al cabo, ésta no tiene abogados que la defiendan ante los tribunales.

Se argumenta que la humanidad no tiene que preocuparse por la escasez energética: se dice que hay carbón para 200 o 300 años al ritmo actual de consumo; petróleo y gas natural para al menos setenta años, la energía solar constituye la fuente más abundante y con menos de una milésima de lo que se recibe en la Tierra ya tendríamos suficiente. De la misma forma, y en el largo plazo, la energía nuclear, más segura que la actual, sea de fisión o de fusión, podría proveerla en cantidad suficiente para soportar el desarrollo humano futuro cualquiera que éste sea.

Este panorama es profundamente incierto y sesgado. De una parte, no se pone límite superior al consumo energético per cápita. Se acepta que seamos 6 ó 10 mil millones de habitantes de la Tierra y que todos tenemos derecho a consumir el equivalente energético de un norteamericano y que será la economía la que ponga los límites al uso, ya que en todo instante los ciudadanos de la Tierra dispondrán de la energía que su poder adquisitivo les permita, para un estado de la tecnología en ese momento dado. De otra parte se ocultan los efectos medioambientales del uso de esa energía. Ni siquiera la energía más renovable está exenta de impacto medioambiental, ya no digamos los combustibles fósiles o la energía nuclear. Teniendo en cuenta que la mayor parte de la energía eléctrica que se produce en el mundo está producida en ciclos térmicos con un rendimiento que oscila entre un 20 y un 45 %, significa que entre un 80 y un 55 % de toda la energía primaria que se consume en el mundo para producir electricidad se disipa produciendo sólo efectos medioambientales negativos. Por ejemplo, el calentamiento del agua de refrigeración de una central térmica supone la evaporación de 3-4 litros de agua por kilowatio-hora producido. Es decir, en la producción eléctrica mundial se evaporan literalmente ríos de agua dulce. En tanto que la electricidad se produzca como consecuencia del paso del calor de una fuente caliente a otra más fría, tendremos que pagar a la naturaleza el impuesto que el segundo principio de la termodinámica exige, y ello aún con la mejor tecnología que podamos nunca imaginar.

El problema no está, por tanto, en si hay o no energía suficiente como para sostener el desarrollo humano, sino en si los límites físicos del uso de la energía van a ser, o ya han sido, superados.

Este es un problema mucho más complejo que el económico. Porque conocer los límites físicos requiere modelos y simulaciones de un sistema que no conocemos y que al ser simplificaciones de la realidad están sometidas a la incertidumbre de los resultados, que hará que unos científicos entonen las trompetas del apocalipsis, mientras que otros sonrían escépticos.

En los años setenta, el Club de Roma lanzó la voz de alarma sobre la falta de materiales que la humanidad iba a sufrir unas décadas después si se continuaba con el despilfarro de metales. Aunque su informe armó gran revuelo y sirvieron sus avisos para remover las conciencias, llegando a crear una incipiente conciencia medioambientalista, no se le hizo mucho caso en términos prácticos. Hoy, treinta años después, no ha aparecido la tan temida escasez anunciada y al decir de algunos científicos «el Club de Roma no ha pedido excusas por alarmar innecesariamente a la población». ¿Es esta historia ejemplar frente a las alarmas que científicos y organizaciones ecologistas lanzan continuamente? ¿Para qué tantos ríos de tinta, si pudiera ocurrir que el cambio climático se debiera a la influencia del Sol y no a las interacciones humanas sobre la atmósfera?

Nuestra sociedad tiende a asociar la palabra *medioambiental* con limpieza: una atmósfera limpia, unos ríos limpios y una tierra sin desechos visibles, es decir, unos vertederos controlados, se consideran protección medioambiental. En cambio, nos olvidamos que las auténticas perturbaciones vienen del lado de la cantidad más que de la calidad. Millones de toneladas de materiales extraídos de la naturaleza y transformados que al final, devienen en residuos. Ríos desviados de su cauce y retenidos, millones de toneladas de tierra erosionada, millones de toneladas de gases arrojados a la atmósfera, zonas boscosas del planeta arrasadas por incendios, etc... Todas estas imágenes sí que constituyen auténticas perturbaciones sobre el planeta. Pero mientras el medio ambiente se contemple como un problema de tipo *Nimby* (no en mi patio trasero) será muy difícil asumir la responsabilidad que entre todos nos cabe de la protección de la naturaleza. El punto clave está en la transferencia de responsabilidades.

El problema de la transferencia de responsabilidades

Cuando pagamos la factura eléctrica llegamos al acuerdo implícito con la compañía suministradora de que la contaminación generada por su producción no es un problema nuestro, sino suyo. En el acto de pagar por el servicio, también se incluyen las responsabilidades contaminantes que todo el proceso haya generado *en el planeta*. Mientras que la economía moderna va repercutiendo el impuesto sobre el valor añadido en producto tras producto hasta alcanzar al usuario final, el endoso de responsabilidad por el impacto ambiental sigue la dirección opuesta: del usuario final al suministrador, de éste al productor y así hasta que el principio de la cadena lo endosa a la naturaleza. Pero a lo largo de la cadena productiva la responsabilidad se desdibuja y la situación económicamente óptima consiste en que nadie pague.

Todos los actos de adquisición que realizamos llevan contenido un impacto ambiental implícito. Comprar alimentos, ropa, vivienda, transporte, educación, sanidad, defensa o cultura tienen impacto. Las sociedades primitivas asociaban rápidamente la riqueza a lo que su entorno les daba. Un año lluvioso o la ausencia de catástrofes natu-

rales implicaba una prosperidad inmediata. Una mala gestión de las tierras implicaba la ruina segura. Proteger y protegerse de la naturaleza era el punto clave de la riqueza. Conforme la sociedad se va complejizando, el hombre se va alejando de la naturaleza, ya no tiene que luchar contra los elementos y éstos le afectan más remotamente. El efecto de sus deseos no lo ve reflejado en el impacto ambiental que éstos generan, así que mientras exista alguien que esté dispuesto a satisfacerlos a cambio de dinero, la moderación en los deseos atenderá a razones económicas no a razones naturales.

Al alejarnos de la naturaleza hemos perdido esa sabiduría humana que nos indicaba cuáles eran los límites de explotación del entorno que nos permitían sobrevivir de una forma sostenible con él. Hoy somos incultos y lo que es peor, no queremos saber. Conocer el impacto de nuestras actividades más cotidianas sobre la naturaleza se ha convertido en algo tabú. No vale la pena conocer el horror y lo desagradable. Ya pagamos por los servicios que nos venden pulcros y exentos de culpa. Es como si cada vez que comemos carne tuviéramos que ver al animal siendo sacrificado, con la sangre, el dolor y con el conocimiento de todos los detalles del *proceso* que ha llevado al animal desde la naturaleza hasta la mesa. Esa sabiduría del cazador que pide perdón a Dios (a la Naturaleza) y al animal porque le permiten sobrevivir un día más, ha desaparecido en nuestra sociedad. La carne viene asépticamente envuelta en una bandeja de plástico, congelada y libre de responsabilidades. No queremos saber cuántos litros de petróleo, cuánto forraje, cuántos fertilizantes, cuánto impacto ambiental en suma, han sido necesarios para convertir ese producto de la naturaleza en algo comestible.

El problema no es ver el lado oscuro de la vida sino percatarnos de que nuestro progreso social se está oscureciendo cada vez más y que no lo queremos ver. La cantidad de energía, espacio natural y materiales que tenemos que remover es cada vez mayor, pero cada vez existen más empresas, organismos y Estados interpuestos que diluyen nuestra responsabilidad como consumidores finales.

De la misma manera que los consumidores preferimos comprar un producto terminado que no tenerlo que hacer, también las empresas y los Estados participan de la filosofía. Un país desarrollado importará cemento, acero, aluminio, papel, vidrio y todos aquellas mercancías que conlleven un elevado consumo unitario de energía, agua y trasiego de materiales o destrucción pura y simple del entorno natural. En las etapas primeras de transformación de materias, los consumos unitarios de combustibles son muy elevados y con ellos sus impactos medioambientales. Conforme los procesos se vuelven más manufactureros el consumo unitario disminuye, así que progresivamente el producto interior bruto de un país va desacoplándose de su gasto energético a medida que éste se va desarrollando. El impacto contaminante y la presión de la opinión pública también disminuyen en consecuencia. Si un país importa aluminio no tendrá que preocuparse de los efectos contaminantes que provoca su producción, no tendrá que crear una legislación especial o hacer excepciones, o defender ante los foros supranacionales, tales como la Unión Europea, lo indefendible. Pagar por las materias primas es más limpio y está exento de complicaciones legislativas *ad hoc*.

El fenómeno de la globalización facilita esta transición, no sólo se favorece el *dumping* social, sino el medioambiental. La globalización es la varita mágica que los gurús de la economía preconizan como solución al desarrollo de los países. Se propone que los países se especialicen en determinadas actividades en las que puedan ser competitivos. Pero la competitividad de quien tiene una población poco preparada consiste en ofrecer salarios bajos y las materias primas propias, y difícilmente podrá especializarse en ensamblar computadores.

La relación entre el coste energético y el valor monetario. *La Regla del notario*

La energía es barata porque no asume todos los costes medioambientales y porque valoramos más los productos del ingenio que lo que nos da la naturaleza, que no reclama su pago. Esta ley, aunque evidente en su forma cualitativa, valía la pena comprobarla empíricamente. Así, en 1995, V. Subiela bajo la dirección de A. Valero y J.M. Naredo (NAREDO Y VALERO, 1999) analiza sistemáticamente la evolución del coste energético y del precio desde *la cuna hasta el mercado* de varios productos: una barra de pan de molde, una hoja de papel impreso, un vaso de vidrio, una lata de aluminio, una botella de plástico y un alicate de acero. En todos estos casos se detecta que la relación empírica entre el coste físico y el precio puede ajustarse a una curva de saturación del tipo:

$$k = 1 - \exp(- p)$$

donde k y p son el tanto por ciento del coste físico (medido en unidades físicas) y del precio (medido en unidades monetarias) de los productos intermedios con respecto al coste físico y precio del producto final, y \exp es el coeficiente de elasticidad de la curva que indica la rapidez con que los costes físicos de los productos intermedios alcanzan el cien por cien de la energía utilizada en la fabricación del producto final (ver lámina 1).

Esta investigación tuvo sus orígenes en 1986, cuando A. Valero y colaboradores publicaron la *Teoría General del Ahorro de Exergía*. A partir de análisis sistemáticos de muy variados procesos se observaba que siempre los mayores ahorros energéticos se obtenían con inversiones relativamente bajas y en los primeros estadios de la

producción. Sin embargo, las empresas preferían (y prefieren) realizar inversiones en procesos que les eran más rentables económicamente y que en general no comportaban ahorros energéticos significativos. Como los criterios de inversión se basan en la rapidez del retorno del capital monetario, es evidente que las decisiones de mejora de los procesos no optimizan el daño medioambiental ni los consumos energéticos y ello es una regla general que va desde el consumidor hasta los intercambios internacionales.

A esta regla general, A. Valero y J.M. Naredo propusieron llamarla la *Regla del notario* y su enunciado es: «En la construcción de una casa el mayor consumo energético se lo llevan la remoción de tierras, los materiales de construcción, el cemento, el vidrio, y el acero que, sin embargo tienen un reducido precio unitario. Por el contrario, cuando la operación finaliza en la mesa del notario, éste, el promotor, el registrador y el Fisco, consumen en su actividad muy poca energía y, sin embargo, reciben una buena fracción del precio final de la venta.»

De la observación empírica se deducen algunos hechos notables, así, en la lámina 1, puede verse que la hoja de papel impresa presenta la mayor saturación, la que indica que al papel no se le da valor hasta que no está impreso y contiene información relevante, ni la tala de árboles, ni el traslado de éstos a la fábrica de pulpa, ni el proceso de producción del papel, ni su traslado al consumidor tienen un valor económicamente significativo; el auténtico valor económico de un papel es la información que contiene, bien sea como hoja de un libro o como documento. Este ejemplo muestra claramente la profunda asimetría que existe entre los costes energéticos y los de la información. Esta asimetría es tan evidente que reflejarla cuantitativamente resulta casi ocioso. En el lado opuesto se encuentra la fabricación de pan. Este proceso es casi tan viejo como la agricultura. Arar las tierra, plantar, regar y recoger el trigo, molerlo, fabricar el pan en el horno y ponerlo en manos del consumidor no lleva ninguna información que no sea bien conocida. No hay que pagar ningún derecho de autor. Por tanto, este proceso sólo refleja los costes físicos incurridos en su producción y así, la elasticidad de la curva coste físico-precio es muy baja. En efecto, si la elasticidad tiende a cero la función de saturación toma la forma lineal del tipo:

$$k \approx p \quad (si \rightarrow 0)$$

Observamos, en este caso, que los precios están reflejando directamente la energía que se ha consumido en el proceso productivo. Algo similar al pan le ocurre a la botella de plástico, cuya producción tiene lugar casi a pie de refinería sin que intervenga ninguna actividad manufacturera o intelectual desde el crudo hasta el monómero y desde éste hasta el polímero y su conformación en botella. Por ello, su precio en el mercado refleja razonablemente bien los costes de las materias primas utilizadas. En el caso opuesto se encuentra una herramienta de acero, como es un alicate. En este caso, su valor en el mercado no refleja su coste energético de fabricación, sino su utilidad. Casos intermedios son los de la lata de aluminio o el vaso de vidrio. Estos ejemplos sirven para mostrar la asimetría entre los costes físicos y los precios de las mercancías y fueron elegidos porque están formados por la misma materia prima *desde la cuna hasta el mercado*. Una investigación más rigurosa que permitiera tabular, por ejemplo, los coeficientes de elasticidad para diversas mercancías, sería problemática, ya que entre otras dificultades metodológicas es objetivamente difícil identificar el producto final de la cadena. ¿Que tipo de papel elegir? o ¿que herramienta? Por otra parte, prácticamente ningún producto final que consumimos está compuesto de una sola materia prima ni consume en su producción un sólo tipo de energía.

Por ello, la *Regla del Notario* queda en el rango de regla sin que valga la pena demostrar su validez universal. No por ello deja de ser ilustrativa en el análisis del deterioro ecológico que nuestro desarrollo económico y social lleva consigo. Así, si en lugar de analizar esta asimetría en los productos industriales la estudiamos en los intercambios entre los países, vemos otra vez que la regla se cumple. Los países ricos lo son porque se ocupan básicamente de las fases finales de elaboración y comercialización de los productos con gran valor añadido por unidad de coste físico (situándose en la parte de saturación de la curva), mientras que los pobres lo son porque se ocupan de las primeras tareas de extracción y elaboración de los recursos naturales, con escaso valor añadido por unidad de coste físico (situándose en la parte inicial de la curva). Los países ricos lo son porque las empresas de las que dependen se centran cada vez más en tareas de gestión, comercialización y manejo de la información, en general, predominando en ellos las actividades llamadas de servicios, mientras que en los pobres predominan las actividades agrarias y extractivas y las primeras tareas de elaboración industrial.

La globalización incrementa aún más estas desigualdades. El intercambio mundial de mercancías se ha multiplicado por quince en el período 1950–1995 y sin embargo la producción lo ha hecho en sólo cinco veces. O. Carpintero, S. Echevarra y J.M. Naredo (ver lámina 1), comparando en valor y en tonelaje los flujos comerciales mundiales entre 1981 y 1995 dedujeron que las mercancías objeto de comercio que forman parte de las primeras fases de elaboración (productos agropecuarios, combustibles y derivados de industrias extractivas) y que por lo tanto ejercen una presión directa sobre los recursos proporcionados por la corteza terrestre, son precisamente los que en tonelaje tienen la mayor importancia en el comercio mundial; por contra, son estos mismos grupos de productos los que obtienen como compensación la menor valoración monetaria y, por tanto, desde el punto de vista pecuniario son los menos relevantes. Sin embargo, en el caso de las manufacturas se observa la tendencia contraria. Con apenas el 10 % del tonelaje total de las exportaciones mundiales, en 1981 acaparaban más de la mitad del valor monetario, alcanzando más de las tres cuartas partes en 1995 para unas cantidades que llegaban escasamente a la quinta parte del total (NAREDO Y VALERO, 1999).

Cuando estos autores analizan qué países exportan, obtienen lo ya bien comprobado de que los países de la periferia siguen básicamente especializados en la producción y exportación de productos primarios, mientras que los países ricos basan su actividad comercial en las manufacturas. Era ya bien conocido por los teóricos del desarrollo el fenómeno de que los países empobrecidos están predominantemente especializados en la exportación de aquellos productos que generan menor valor añadido monetario; sin embargo, ahora se añade el hecho de que son precisamente esas mercancías las que suponen mayor coste físico de reposición y por ende más energía y materiales, es decir, más recursos naturales. «Mientras que las manufacturas intercambiadas por materiales primarios desempeñan un papel equilibrador en lo monetario a nivel internacional, en lo físico existe una entrada neta de más de mil millones de toneladas de productos hacia los países desarrollados procedentes del resto del mundo. Estos materiales ya lavados, cribados y preprocesados dejan un rastro de deterioro ecológico increíblemente superior en sus países de origen y que los países ricos no asumen como propio. El grueso de estos flujos lo constituyen los combustibles, cuyo volumen en 1981 y en 1990 se mantenía en un 87 % del intercambio mundial de materiales y en segundo lugar, aparecerían las importaciones netas procedentes de las industrias extractivas.»

La globalización del comercio facilita los intercambios de materiales y energía a nivel mundial y así el volumen de comercio internacional casi se ha doblado desde 1981 hasta 1995. Durante este periodo se ha pasado de algo más de 3.000 millones de toneladas hasta alrededor de los 5.500 millones de toneladas. Este comercio está facilitando el rápido deterioro ambiental del planeta, ya que los países ricos al pagar transfieren la responsabilidad del deterioro a los países que voluntariamente están dispuestos a vender sus materias primas asumiendo así los costes medioambientales asociados. Curiosamente, los países ricos devuelven ese exceso de tonelaje importado en forma de emisiones de CO₂ y otros gases a la atmósfera; en forma de contaminación a los ríos que van a parar a los océanos; y finalmente, en forma de basuras. No es raro ver que países como Alemania son o han sido netos exportadores de plásticos residuales o de cartón, provocando por ejemplo, una bajada tal de los precios del cartón reciclado en España, que hace económicamente difícil el reciclado local de papel.

Estos hechos confirman que la *Regla del Notario* no sólo se cumple para los consumidores finales sino que también rige los intercambios de mercancías a nivel internacional. Y el mundo, lejos de disminuir los consumos energéticos y materiales, los está aumentando, sólo que ahora son los países menos desarrollados los que están asumiendo la carga ambiental asociada. La conciencia ambiental por el reciclado, los planes sobre vertidos, las plantas de depuración de aguas urbanas, los límites legales a las emisiones de gases de efecto invernadero y otras tantas disposiciones legales que los países ricos nos imponemos no son más que operaciones higiénicas y de cosmética que además, contribuyen a elevar nuestra autoestima, haciéndonos creer que como países más desarrollados nos preocupamos mucho de los problemas medioambientales. Preocuparse por el medio ambiente está de moda...

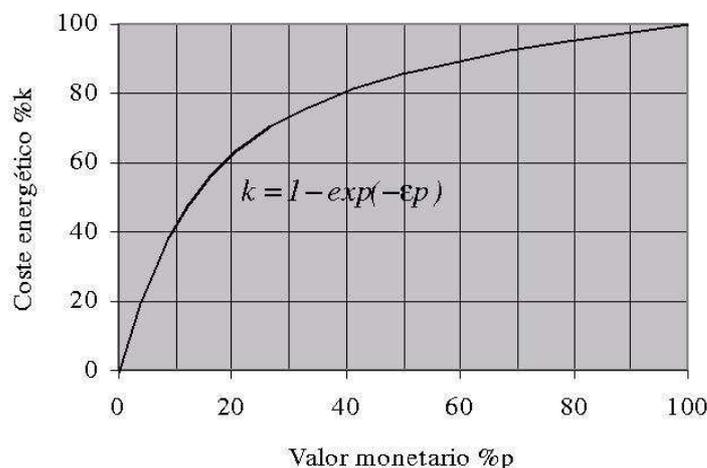


FIGURA 1: Representación gráfica de la Regla del Notario

Energía y materiales

¿Cuales son las raíces del elevado consumo energético de nuestra sociedad?

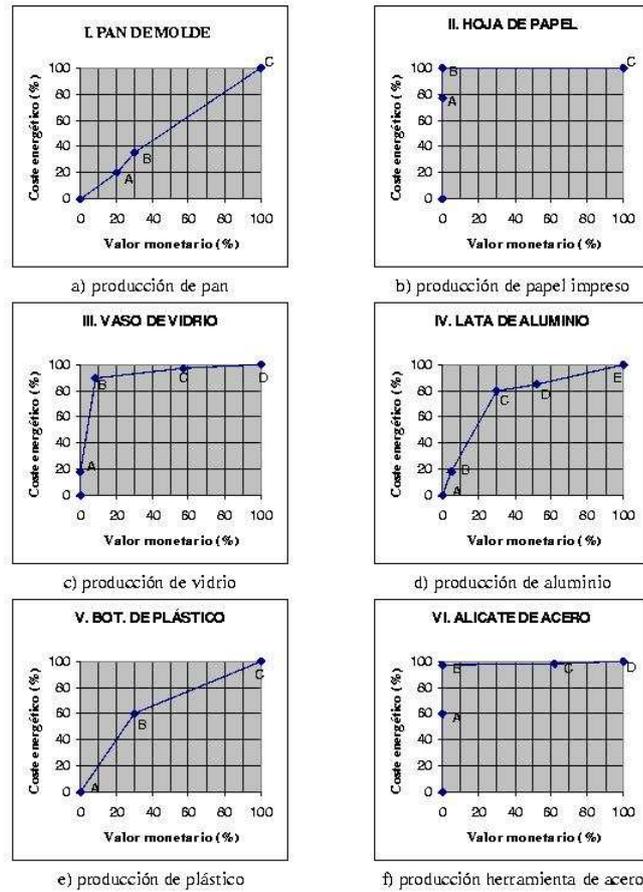


FIGURA 2: Relación empírica entre costes energéticos y costes monetarios para pan, papel, vidrio, aluminio, plástico y acero

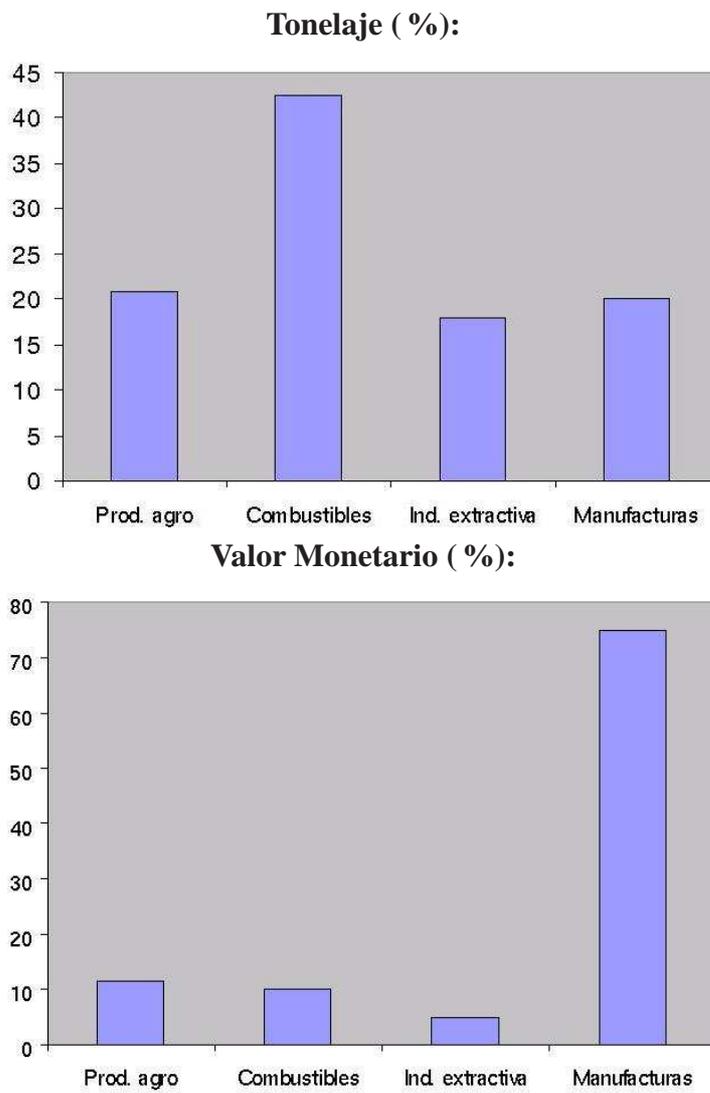


FIGURA 3: Estructura del Comercio Mundial en Tonelaje y Valor Monetario. 1995

El consumo energético no constituye un fin en sí mismo, simplemente satisface una demanda centrada en las utilidades que deseamos adquirir. Cuanto más voluminosas sean, más energía necesitarán para llegar a nuestras manos.

La termodinámica o como Rankine la llamó, energética, nos enseña que el trabajo es igual a una fuerza por un desplazamiento. A mayor masa a desplazar o a mayor desplazamiento, mayor será la energía consumida. También la termodinámica enseña que cuanto mayor sea el número de procesos intermedios en una transformación, mayor será el consumo energético, y ello, aunque cada subproceso sea muy eficiente. Dividir una actividad en muchas subactividades puede ser muy eficaz desde el punto de vista organizativo, pero, no tiene por qué serlo desde el punto de vista energético.

Si unimos las anteriores observaciones tenemos algunas de las claves del elevado consumo energético de nuestra sociedad. Si la energía es barata, el traslado de materiales a larga distancia no resulta oneroso. SCHMIDT-BLEEK (1997) describe que un yogur de fresa en Alemania ha recorrido 7.857 km antes de llegar al frigorífico del consumidor. Ello ha sido necesario para la fabricación del envase de plástico, la tapa de aluminio, la leche, las fresas, los estabilizantes químicos etc, pero sin contar los desplazamientos originados por las vacas, ni fertilizantes para producir las fresas, ni tan siquiera el desplazamiento de la basura que generamos una vez comido el yogur u otros no tan directos, pero igualmente necesarios. La globalización está favoreciendo estos desplazamientos y no es raro ver que en Nueva York se vendan tulipanes producidos en Holanda que viajan haciendo escala en Moscú ya que la compañía Aeroflot es más barata. Tampoco es extraño comprar en Estados Unidos agua mineral embotellada en Francia, cuya idéntica composición química podría salir más barata si se fabricara en Estados Unidos a partir de las sales puras y el agua destilada, y éstas compradas a precio de mercado. A eso se le llama el poder de las marcas...

El comercio internacional tiene lugar en tanto exista un **desplazamiento de materiales y mercancías**, y con ellos su empaquetamiento. Las técnicas del empaquetamiento y embalaje se han convertido en los últimos cuarenta años en una forma muy sofisticada de venta. Se embala para proteger la mercancía de golpes o de agentes externos; se envuelve para conservar las propiedades organolépticas y se empaqueta para prestigiar una marca y hacer publicidad del producto. Las razones más primarias del envoltorio, como son la seguridad física o el robo, quedan atrás, y en muchos casos, el continente es más caro que el contenido, que se prestigia gracias a su presentación. La imagen y el coste de la imagen se compensan ampliamente con el margen de la venta y la energía necesaria para transportar el material se consume más en los envoltorios que en la mercancía vendida. Fabricar los envoltorios requerirá producir y transportar papel, cartón, madera, plástico, vidrio, acero, aluminio, etc, que a su vez habrán sido fabricados y transportados desde innumerables partes del globo, y habrán necesitado enormes cantidades de energía para su producción. La energía física del transporte de mercancías ha aumentado y va a seguir aumentando con la globalización y la deslocalización de los diferentes procesos manufactureros que integran un producto final.

La energía química de separación y de reacción desempeña un papel aún más importante que la energía consumida en los transportes. Nuestra sociedad no sabe apreciar el esfuerzo energético tan enorme que significa separar. Para trasladar necesitamos motores que conviertan la energía química en energía cinética y estos motores nunca tienen un rendimiento superior al 25 %, lo que hace que el proceso completo nunca supere el rendimiento de un 10 ó un 15 % de la energía del combustible utilizado. En cambio, separar es un proceso altamente ineficiente, igual da que se separen sólidos de sólidos, sólidos de líquidos, líquidos de líquidos, gases de líquidos o gases de gases; en cualquier caso se necesitan técnicas que hacen uso masivo de la energía y de disolventes, particularmente el agua. Entre estos procesos se cuentan la destilación, la flotación, la filtración, la disolución y extracción de líquidos, la absorción y adsorción de gases y algunas más. Todas estas técnicas tienen en común que si mezclar no desprende energía, el proceso inverso de desmezcla lleva aparejado cientos o miles de veces más consumo energético. Y el fenómeno mezcla-separación está omnipresente en todas las actividades cotidianas. Así, la minería es un proceso de separación principalmente entre sólidos. Por ejemplo, la minería a cielo abierto de extracción del carbón mueve más de 10 tm de materiales inertes por cada tonelada de lignito extraída. Toda la industria del petróleo basa sus elevados consumos energéticos en la separación de sus componentes como GLP, gasolinas, gasóleos, asfaltos, etc. La naturaleza no provee los minerales, las rocas, el agua, ni los combustibles, en estado de uso industrial, lo que significa separarlos de sus componentes naturales y purificarlos. Esos primeros estadios físicos son profundamente consumidores de energía y, lo que es más dramático, la energía necesaria para separar un componente de una disolución (sólida, líquida o gaseosa) tiende a ser proporcional al inverso de su concentración. Es decir, que separar un componente en una concentración al uno por mil cuesta al menos diez veces más energía que si éste está al uno por ciento y, a su vez, éste cuesta al menos diez veces más que si lo está al diez por ciento. Lo irónico es que la termodinámica nos dice que la energía de separación mínima es igual a la que da el componente al mezclarse, lo que significa que la ineficacia de estos procesos es enorme. Aquí la nanotecnología y la biotecnología deben desempeñar un papel primordial en el futuro. Si existen bacterias capaces de separar selectivamente metales y sustancias químicas, deberían ponerse en servicio, en aras a bajar radicalmente los consumos energéticos asociados a la separación. De la misma manera, en el futuro, la nanotecnología y la industria informática pueden ser clave en la selección y separación inteligente de componentes en mezclas.

No obstante, si la interfase naturaleza-materias primas desempeña un papel crucial en el consumo de energía, no menos importante es la interfase desechos-naturaleza. Nuestra sociedad maneja miles de toneladas de materiales que después de pocos ciclos de uso se convierten en desechos, basuras, emisiones al agua y a la atmósfera. Son también procesos irreversibles de mezcla que contaminan y polucionan el suelo, la hidrosfera y la atmósfera. Y ante este fenómeno generalizado sólo tenemos, en el largo plazo, dos alternativas: evitar la mezcla o separar lo mezclado. La última se denomina, tecnología *end of the pipe* y es la más generalizada. Se trata de evitar emisiones lavando gases, depurando aguas residuales, incinerando basuras, etc. Las regulaciones medioambientales tratan de limitar las emisiones y nunca inciden en sus auténticas causas.

Cuando se ha mezclado, y el proceso de contaminación es esencialmente un proceso de mezcla, se necesita gran cantidad de energía para separar. Es mejor evitar el proceso de separación simplemente evitando la mezcla. Reutilizar los materiales y diseñarlos robustos para que sus ciclos de uso se multipliquen es más importante que reciclar o simplemente disponerlos en un vertedero por muy controlado que esté. El despilfarro de materiales y de agua es en última instancia un despilfarro aún mayor de energía y por tanto, de acciones agresivas a la naturaleza. En el proceso de purificación y esterilización se consumen energía y productos químicos que han necesitado energía para ser obtenidos, y en el proceso de depuración vuelve a consumirse energía para limpiar un agua que en una gestión racional podría no haberse necesitado.

La sociedad necesita energía para su desarrollo, pero el desarrollo no tiene por qué implicar un despilfarro de energía. En cualquier proceso productivo se podrá o no *gastar* materiales y agua pero lo que es seguro es que se consumirá energía y ese consumo energético llevará asociado un impacto medioambiental cierto.

La tercera vía de despilfarro energético es la **energía química de reacción**. Los materiales más utilizados por la sociedad son justo aquellos que necesitan más energía para su producción. Por citar sólo cinco fundamentales: acero, aluminio, cemento, vidrio y plásticos. Los metales, salvo los preciosos, no aparecen puros en la naturaleza sino en forma de óxidos. Tanto el óxido de hierro, como el de aluminio, es decir, bauxita, deben ser reducidos y para ello se necesitan enormes cantidades de energía de origen térmico, eléctrico o de ambos. El cemento en su producción necesita ser calcinado y para el vidrio debe fundirse la arena silíceo. El plástico es petróleo directamente transformado. En todos estos procesos el consumo de energía por unidad de masa de material producida es muy elevado. Sin embargo, su coste económico resulta despreciable en comparación con cualquier producto manufacturado. Escasamente se empieza a tener conciencia de que un envase de plástico o una lata de acero o de aluminio o una botella de vidrio son elementos valiosos independientemente de que podamos o no pagarlos y que el reciclaje de estos productos no se hace por el retorno económico que nos den por ellos, sino por una conciencia medioambiental que sentimos que no se paga.

Si la producción energética asumiera todos sus costes sería mucho más cara. Y de la misma forma que en los últimos doscientos años la productividad laboral de las empresas se ha multiplicado por más de 50, es el momento de reclamar que la productividad de la energía se mejore notablemente en este siglo XXI (SCHMIDT-BLEEK, 1997). Es una falacia decir que siempre existirá energía de una u otra forma que acompañará al hombre en su desarrollo y que por tanto podremos consumir toda la energía que necesitemos en todo momento, con tal que podamos pagársela a algún suministrador que ya se encargará de ponérsela a la puerta de casa. Por respeto a la naturaleza y por desconocimiento de las fuerzas que desencadenamos en ella, sabemos que existe un límite superior de deterioro que es incierto o simplemente desconocido y que no deberíamos rebasar por el bien del planeta y de las generaciones futuras.

Hagamos lo que hagamos seguiremos consumiendo energía y aunque fuéramos capaces de reciclar todos los materiales y toda el agua, la vida sólo continuaría si hubiera energía que la moviera. Sólo cuando la energía se convierta en un factor de escasez económicamente tan importante como el capital o el trabajo, empezarán a optimizarse los procesos desde el punto de vista energético y aparecerán nuevas formas de organización en las que la proporción de mano de obra, capital y energía alcanzarán otros óptimos.

La sociedad occidental basa su modo de funcionamiento en el mercado y para proteger algunos bienes comunes como la equidad, el medio ambiente, la cultura, las infraestructuras, la sanidad, la educación o el futuro, disponemos de una estructura impositiva que grava las transacciones comerciales. Gran parte de los impuestos que pagamos se relacionan con el rendimiento (económico) de las personas físicas, es decir, con el trabajo. Así que el trabajo se ha convertido en un factor caro y el capital, a través de los procesos de automatización, ha ido sustituyendo progresivamente mano de obra por máquinas que consumen mucha más energía que la mano de obra que sustituyen. Si en vez de gravar el trabajo, el sistema impositivo gravara el consumo de materiales y energía, se evitarían los despilfarros y los deterioros ecológicos, habría energía para todos y lo que es más importante, la mano de obra no quedaría ociosa, no solamente en los países desarrollados, sino sobre todo en los países en vías de desarrollo donde la superpoblación es un problema crucial.

A largo plazo será más importante que cerrar el ciclo de los materiales y el agua, el hecho de que el ciclo no sea excesivamente grande para todos y cada uno de los habitantes del planeta. El que nos garanticen que todas las piezas de nuestro vehículo, o de nuestros electrodomésticos o de nuestras basuras vayan a ser recicladas, no nos puede dejar tranquilos si seguimos a cambio con la tónica de comprar un vehículo nuevo cada seis meses o

unos electrodomésticos de usar y tirar. La energía para mover esos enormes ciclos sería enormemente perjudicial para el medioambiente. La calidad, la eficiencia energética, la larga duración y la responsabilidad deben ser los criterios de diseño que deben prevalecer. La venta de servicios más que de productos será la clave del comercio y la desmaterialización de la economía en aras a una permanencia del hombre en la Tierra. La informática, las comunicaciones y las nanotecnologías contribuirán significativamente a este lento pero esencial progreso.

¿Cual es el capital mineral de la Tierra?

De lo dicho hasta ahora se deduce que la escasez o no de combustibles fósiles no es el problema central del desarrollo económico y social de los pueblos que habitan el planeta. El problema se centra más en analizar todos los recursos no renovables conjuntamente y ver su disponibilidad. El planeta es como una enorme clepsidra que lenta pero inexorablemente va suministrándonos su riqueza. La humanidad a cambio le devuelve esos recursos degradados, contaminados y dispersos. ¿Por cuanto tiempo el sistema económico mundial seguirá considerando a la Tierra como un enorme sumidero de residuos? ¿Quién estallará antes, el sistema económico al uso o la naturaleza? Es evidente que si no cambiamos nuestros modos de desarrollo intensivos en materiales, agua y energía, y por ende residuos, estamos exponiendo a la biosfera a un grave riesgo ecológico cuyas consecuencias no sólo serán de reacción de la naturaleza contra el hombre sino que las propias desigualdades humanas podrían provocar aún males mayores.

En los años setenta y ochenta, con la primera y la segunda crisis de la energía, se puso mucho énfasis en analizar de cuántos recursos energéticos disponía la humanidad y el primer informe del Club de Roma sobre los límites del crecimiento enfocó también la atención sobre la escasez de algunos minerales y materias primas en general. Aquellos informes y estudios predecían que la humanidad entraría en períodos de carencias críticas en la década del noventa, los más pesimistas, y la del 2030, los más optimistas.

Lo cierto es que con la subida de los precios de los carburantes, nuevos pozos petrolíferos que no eran rentables entraron en explotación, aparecieron nuevos yacimientos y se diversificaron las fuentes energéticas hacia el carbón, el gas natural y la energía nuclear. El efecto fue el contrario del predicho ya que por la ley de la oferta y la demanda, un exceso de oferta deprimió los precios y así, durante los noventa especialmente, el mundo vivió una bonanza de los precios de la energía que no se correspondía ni con las predicciones incluso más optimistas. De la misma forma, la aparición de nuevos metales como los *composites*, la utilización de aleaciones de metales con propiedades muy mejoradas con respecto a los metales puros, así como los nuevos materiales poliméricos, han evitado una crisis en el suministro de materiales.

El resultado ha sido que la década de los noventa ha centrado más las preocupaciones en la degradación medioambiental que en las crisis de la energía y los materiales. El cambio climático, la desaparición de la capa de ozono y de los bosques tropicales o la degradación de las pesquerías, las lluvias ácidas, etc. . . han sido los temas predominantes que han creado preocupación en la opinión pública.

Tanto es así que parece que el medio ambiente se ha convertido en la preocupación global más importante de la humanidad. Sin embargo, la visión que se tiene del medio ambiente es higiénica y cosmética. Higiénica, porque sobre todo se quieren evitar las emisiones *al final de la tubería* por el daño evidente que causan y cosmética porque degradar nuestro entorno próximo es sucio. Un entorno natural conservado es bello. Queremos ciudades con árboles y parques a no muchos kilómetros de nuestra casa, disponer de entornos naturales bellos y bien cuidados, pero no se ahonda en las raíces del problema de la degradación. Lo lejano no está dentro de nuestras preocupaciones. Pareciera que los gobiernos de los países o la falta de acuerdos internacionales fueran los responsables en última instancia de problemas que no nos afectan cotidianamente y de los que sólo tenemos noticias a través de la prensa y de los medios de comunicación. Pero el planeta es uno y único y no puede contemplarse la degradación del medio ambiente como un problema que consista en poner las leyes suficientes y hacerlas cumplir; ni podemos dejar que sea el mercado quien, en última instancia, ponga a disposición de los consumidores todas las materias primas, agua y materiales que puedan pagar, teniendo en cuenta que nadie paga a la naturaleza por los costes de degradación que le infligimos. Ni la escasez de materia primas ni el daño medioambiental son problemas separados y constituyen aspectos de un problema común, cual es, que nuestros modos de desarrollo están basados en el uso intensivo y despilfarrador de los recursos naturales. La energía es simplemente el combustible que mueve el proceso que convierte los materiales en desechos.

Un análisis de cuál es el capital mineral de la Tierra es fundamental para conocer cuál es el estado actual de nuestras cuentas con el planeta. Saber cuánto tiene y cuánto le debemos es crítico para una buena gestión de la Tierra y también para saber qué se podría hacer con dicho capital y qué no. Tomar conciencia de que dicho capital es finito y medible ayudará a reflexionar en la dirección de una economía nueva que integre la gestión del planeta como parte inseparable de nuestros deseos de adquirir y consumir más cosas y junto con el derecho de todo ser humano a desarrollarse social y personalmente.

En esta tarea contable no solamente cuentan los combustibles fósiles sino todos los minerales y materiales de la Tierra incluidos el agua y el aire. Además, no pueden verse los recursos como algo sólo a poner en la cuenta del

haber, ya que si cada vez que los utilizamos estamos generando un daño a la naturaleza, bien sea por la combustión, o bien por la remoción de tierras que causa la minería, habrá que descontar el debe del impacto medioambiental que causa su uso.

Por otra parte, una contabilidad racional exige que todos los asientos aparezcan en las mismas unidades, lo que añade una mayor complicación a la tarea. En efecto, estas unidades no pueden ser monetarias ya que no sabemos cuál será el valor en el muy largo plazo (o poder de adquisición) de cualquier moneda que utilicemos. Las contabilidades monetarias valen para intervalos temporales relativamente cortos desde el punto de vista histórico, porque los cambios sociales son tan considerables en el largo plazo, que hacen inútiles todas las cuentas. ¿Quién actualizaría hoy una cuenta en sextercios o en doblones si no fuera por pura curiosidad? La moneda tiene valor dentro de un contexto histórico y dentro de una sociedad que quita y pone valor a las cosas. Las guerras y las revoluciones han destruido imperios, modos de vida y esquemas sociales que un día se creyeron eternos. ¿Como es posible que le pidamos al sistema financiero un determinado interés por nuestro dinero de forma *permanente*? Por ejemplo, pedir un 2 % anual por encima de la inflación a nuestro dinero significa que en 34,6 años habremos duplicado nuestro poder adquisitivo. Si la riqueza de la población se basa en última instancia en el poder de adquisición de bienes materiales que necesitan energía y materias primas para su obtención, es evidente que duplicar el poder de consumo de la humanidad entera dentro de 35 años significaría que a iguales tasas de uso de recursos naturales (es decir un 2 % de tasa de aumento de extracción anual), éstos habrán disminuido a la mitad de los actuales y la gente tendría el doble de capacidad de adquisición que la actual para adquirir más bienes materiales. Estos mismos cálculos extendidos a períodos más largos de tiempo conducen a absurdos lógicos en los que se ve claramente que ni la moneda dentro de cien años (aun descontada su inflación) tendrá el mismo poder adquisitivo que el actual, es decir, el espectro de cosas que se podrán comprar, ni la sociedad podrá sostenerse con tan elevados consumos unitarios de materiales y energía como el actual. Queda por ello demostrado que un análisis intemporal de los recursos del planeta no tiene sentido medirlo en unidades monetarias, ni pasadas, ni actuales ni por supuesto futuras.

Una forma de resolver el problema es recurriendo al segundo principio de la termodinámica a través del concepto de *exergía*. La idea central es que la exergía es la máxima energía utilizable que puede obtenerse de un material con respecto a unas condiciones ambientales prefijadas de referencia.

Siguiendo esta lógica, el indicador más significativo será aquel que muestre, no la energía útil mínima o exergía, sino la exergía *real* puesta en juego para constituir un material. El problema está ahora en que no conocemos el esfuerzo energético que la naturaleza ha hecho a lo largo de su evolución para constituir el estado actual de la Tierra, por otra parte resultaría ocioso emprender una investigación con este objeto, porque la Tierra se ha formado por un concatenación azarosa y simultánea de innumerables procesos. Una alternativa consistiría en utilizar el *coste exergético de reposición* para valorar los materiales. Este concepto expresa «la cantidad de exergía que sería necesario consumir, con la tecnología actual, para reponer un material y su entorno circundante al estado original de composición y concentración que había en la naturaleza antes de extraerlo».

La fórmula se basa en los trabajos de CHAPMAN Y ROBERTS (1983) en los que estos autores estudiaron un gran número de procesos tecnológicos mineros y concluyeron que la cantidad de energía que se consumía para extraer un material de uso industrial a partir de su estado natural en la mina era inversamente proporcional a su composición o ley en la mina si no había que transformarlo químicamente. Y si había que transformarlo, entonces había que añadir una energía proporcional a la cantidad termodinámica mínima requerida para dicho proceso químico. E. BOTERO (2000) bajo la dirección de A. Valero ha evaluado los coeficientes de proporcionalidad asociados a gran parte de los procesos extractivos y de transformación que existen en la actualidad y que se aplican a los minerales más comunes de los que se obtienen todos los elementos químicos, materiales de uso industrial, combustibles y agua. Partiendo de una naturaleza hipotéticamente muerta en que todos los materiales de la Tierra estuvieran mezclados, dispersos y en su estado de mínima energía libre compatible con todos los compuestos entre sí, es posible valorar, al estado actual de la tecnología, cuál es la energía que el hombre necesitaría para llegar a constituir todos los minerales que tienen un uso en el mercado. No hay lugar aquí para detallar precisiones metodológicas que pueden consultarse en el trabajo original. Lo importante es poner de manifiesto cuál es el capital mineral de la Tierra medido en unidades energéticas.

Con estas consideraciones previas, los resultados parciales que E. Botero obtiene son sorprendentes: las reservas minerales probadas del planeta equivalen a 41.500 millones de toneladas equivalentes de petróleo, lo cual equivale al 5,7 % de todas las reservas de combustibles fósiles de la Tierra. De esta cantidad, el 44 % es la energía que el planeta nos ahorra por el hecho de darnos los minerales concentrados con respecto a lo que sería que todos los elementos de la corteza estuvieran totalmente dispersos, y un 36 % (14.978,4 Mtep) corresponde al término de composición, es decir, lo que la Tierra nos ahorra por suministrar sustancias químicas minerales no exhaustas químicamente con respecto al ambiente de referencia.

El consumo anual de este capital es de 506 Mtep, es decir, un 1,2 % por año, lo que aparentemente indicaría que existen minerales a este ritmo de consumo para 82 años, sin embargo no es así, porque al extraerse, lógicamente en primer lugar, los minerales de composición más favorable, es decir, aquellos cuya transformación química requiere

menor gasto energético, se consumen cada año 256,7 Mtep de esta segunda componente del capital natural mineral. En otras palabras, se pierde irrevocablemente el 1,7 % anual de la riqueza debida a la composición específica de los minerales, una velocidad dos veces mayor a lo que ocurriría con la primera componente debida a la concentración.

El consumo de minerales sigue un comportamiento fuertemente no lineal. Dado que los minerales más accesibles presentan una concentración (ley de mina) y una composición favorables y aún son abundantes (la prueba es que en el mercado no se ha producido jamás una crisis de suministro de ningún mineral de forma tan ostensible como las crisis de la energía) se están consumiendo los mejores minerales y como no resulta rentable su reciclado ya que es más barato seguir extrayendo que reciclar, la economía al uso permite la dispersión de los materiales utilizados así como su uso masivo, ya que aún no existe objetivamente escasez. Sin embargo, a las generaciones posteriores les estamos dejando las peores minas y las más dispersas, lo cual provocará a su vez mayores consumos de energía por tonelada de material extraído y por lo tanto tendrá que ser una sociedad aún más intensiva en consumos energéticos que la actual. Esto es así porque como hemos visto, los mayores consumos energéticos de la sociedad actual se dan en las primeras fases de fabricación de los productos (*Regla del Notario*). Y nuestra sociedad de consumo promueve el *usar y tirar* como acción clave para que la economía funcione.

De lo dicho resulta evidente que tarde o temprano el reciclado de materiales va a ser fundamental en el futuro. No podemos continuar por mucho tiempo con un tipo de sociedad que basa su actividad en la conversión de riquezas naturales en desperdicios. Hay que darle la vuelta al reloj de arena y esa vuelta será tanto más costosa cuanto más tardemos en darla.

Como no pagamos a la naturaleza por ese capital natural que nos suministra gratis, reparar, reciclar y reutilizar, resultan aún caros, así que nuestra gestión del planeta es doblemente abusiva: tomamos de la corteza las mejores minas, con la mejor ley y composición y, de otra parte, no reciclamos porque aunque el desperdicio es abundante y concentrado, resulta más barato explotar nuevos yacimientos. El problema se paliaría e incluso se resolvería si fuéramos conscientes de que hay que reponer a la naturaleza aquello que de ella consumimos y actuar en consecuencia, creando leyes, acuerdos y tratados internacionales que dediquen una parte del pago a reponer los impactos que causa su extracción. Esto es poco menos que utópico a no ser que muchas personas conscientes del problema lo pongan de manifiesto y presionen suficientemente a las gobiernos, sobre todo, de los países más consumidores.

La economía actual está basada en las ideas de Adam Smith sobre la mano invisible que actúa, si cada uno vela por sus intereses, haciendo que todos salgan beneficiados. Pero el mercado presenta un fallo fundamental, no es el lugar perfecto donde confluyen todos los intereses porque en él no están presentes ni los pobres, ni las generaciones futuras, ni la biosfera, ni la geosfera; y todos ellos tienen y tendrán mucho que decir. Sólo percibimos un coste si resulta un sacrificio a *nuestros* recursos. La concepción de lo propio abarca un ámbito pequeño. Cuando el coste es ajeno, puede incluso que nos alegremos, dado el fuerte estímulo social que se da a la competitividad. Los bienes comunes, tanto si son lejanos en el espacio como en el tiempo, no se perciben como propios y no se adquiere responsabilidad sobre ellos. Su dispendio y destrucción no es noticia.

Nos mantenemos en un estado deliberadamente infantil en el que el ámbito de nuestras preocupaciones y responsabilidades es estrecho y nuestro egoísmo grande. Y en esto, aunque los resultados de los científicos ayuden a tomar conciencia, molestan porque nos sacan del paraíso de niñez en la que estamos sumidos los consumidores.

Si la situación de los minerales de la corteza terrestre es preocupante, aún lo es más la de los combustibles fósiles. De acuerdo con E. Botero, el capital natural de éstos se reduce al menos un 11,3 % al tener en cuenta el coste físico de las externalidades que tendría un uso limpio y con la mejor tecnología disponible. Así las reservas de petróleo se reducirán, al menos, a un 91,2 % de las actuales, las de carbón a un 82,7 % y las de gas natural a un 96,4 %.

CUADRO 1: Capital natural actual y capital natural limpio de los combustibles fósiles

Combustible	Actual (Mtep)	Limpio (Mtep)	Reducción (%)
Petróleo	150.692	137.442	91,2
Antracitas y carbón bituminoso	333.495	288.576	86,8
Carbón sub-bituminoso y lignitos	199.066	169.674	82,7
Gas natural	131.558	126.950	96,4
Total	814.811	722.642	88,7

Descontar las externalidades puede parecer un simple ejercicio contable, sin embargo tiene dos efectos; de una parte pone en evidencia que el uso de los combustibles fósiles debería ser gravado en, al menos, el coste de paliar su impacto medioambiental, que afortunadamente no es tan elevado como en principio podría esperarse, y por la otra, nos hace tomar conciencia de que la disponibilidad global de combustibles fósiles se acorta en el tiempo,

concretamente al ritmo actual de consumo serían 3,8 años menos para el petróleo (ahora 39,4 años), 29,1 años menos para el carbón (ahora 180,9 años) y 0,8 años menos para el gas natural (ahora 56,2 años).

Estas cuentas no incluyen los costes de reposición asociados a fijar el CO₂ en forma de plantaciones de bosques, con lo que los valores son netamente superiores aún a los que estrictamente deberían aplicarse, pero al menos dan un orden de magnitud del coste global de las primeras acciones que deberían tomarse.

Un encarecimiento general de un 11,3 % de los combustibles fósiles para paliar sus efectos medioambientales más directos no es demasiado. Durante el año 2000, el precio del barril de crudo ha experimentado una subida muy importante en todo el mundo. El efecto, con ser perturbador, está siendo absorbido razonablemente bien por las economías industrializadas, las cuales no presentan tantos síntomas de alarma social como los que aparecieron con la primera y la segunda crisis del petróleo. El problema es que estos incrementos de precios únicamente repercuten en la economías de los países *productores* (mejor extractores) de petróleo y no en paliar los efectos medioambientales de su consumo. Por ello, cuando decimos que la energía es barata no significa que deba pagarse más a los países extractores de combustibles fósiles, sino que los consumidores deberían pagar más por esa energía y el pago adicional debería ir a paliar los efectos sobre el medio ambiente y a reponer los daños sobre la naturaleza.

Que las economías occidentales no se resienten notablemente por incrementos espectaculares del precio de la energía es una prueba empírica de que la sociedad global podría abordar razonablemente bien un incremento de costes de un 11,3 % para paliar el impacto negativo del uso de los combustibles fósiles.

Finalmente, es interesante analizar el mineral líquido más abundante del planeta: el agua, y en particular el agua dulce. El agua acompaña al desarrollo casi tanto o más que la energía. Y es posible que muchas regiones del globo tengan impedido su desarrollo por culpa de la falta de agua. ¿Hasta qué punto el agua constituye un derecho del consumidor y cuando se convierte en un bien de uso y derroche? ¿De los 300–400 litros que aproximadamente consume directa e indirectamente un español medio al día, sin contar con los consumos agrícolas, menos de 3 litros los ingiere y el resto se utiliza en usos industriales, sanitarios y de limpieza, es necesario que toda el agua que se utiliza deba ser tratada? menos del 1 % de ese agua se utiliza para beber y para usos culinarios, así que el 99 % se trata antes de llegar al usuario y luego, la de uso industrial y urbano se depura antes de verterla nuevamente al río. Ello sólo en los países industrializados y no en todas las poblaciones. Tanto el tratamiento previo del agua y su canalización como su posterior depuración necesitan materiales e infraestructuras que requieren a su vez materiales que para su creación, uso, mantenimiento y disposición, requieren energía. Así que no es ocioso valorar los recursos hídricos del planeta en términos energéticos, porque al final una mala gestión del agua o simplemente una demanda de agua en zonas donde se necesita acuciantemente requerirán energía para disponer de ella.

El agua es muy abundante, tanto, que el planeta Tierra se ve azul desde el exterior. Sin embargo, el 97,5 % de toda el agua es salada, es decir, está en estado muerto. Pero de toda el agua dulce sólo el 0,3 % (de ese 2,5 %) está en lagos y ríos y es renovable, el resto es agua subterránea (29,9 %), está en glaciares y nieves perpetuas en los polos (68,9 %) o se conserva en la humedad del suelo y de la atmósfera (0,9 %). Es decir, que el milagro de la renovación del agua dulce a partir de la energía solar que se da todos los días abarca a la cantidad ínfima de 75 partes por millón de toda el agua de la Tierra. El agua dulce es escasa y, lo que es peor, está mal repartida. El 27 % de los recursos renovables de agua en la Tierra se encuentran en cinco grandes ríos: Amazonas, Ganges con Brahmaputra, Congo, Amarillo y Orinoco, mientras que el 48,2 % de los recursos hídricos renovables del planeta se forman en sólo seis países: Brasil, Canadá, Rusia, Estados Unidos, China y la India. Para contrarrestar las escaseces de inmensas zonas del planeta, la solución será recurrir a la tecnología de desalación del agua del mar y de aguas salobres, o bien a una gestión racional de los recursos, es decir, suministrar la cantidad y calidad de agua que realmente se necesitan y evitar el despilfarro.

Si se valoraran los recursos hídricos renovables de la Tierra a su coste de reposición a partir del agua del mar con la mejor tecnología de desalación actualmente disponible, se obtendría que se necesitarían 43.933,7 millones de toneladas equivalentes de petróleo por año, es decir, tendría que disponerse de esta energía primaria, adicional a la que hoy se consume, para llevar a cabo parte de los servicios del ciclo hidrológico en el caso hipotético de que éste dejara de realizar su función en la forma en que lo ha venido haciendo hasta ahora.

Teniendo en cuenta que el consumo de energía primaria proveniente de los combustibles fósiles fue de 8.276 Mtep en 1997 (WORLD WATCH INSTITUTE, 1999), cada año tendrían que disponerse de 5,3 veces adicionales a esta cantidad para suplir una parte de las funciones del ciclo hidrológico. Suponiendo que la reposición del recurso se hiciera con carbón, cuyas reservas se estiman en 532.561 Mtep, la relación de reservas/producción que hoy es de 210 años se reduciría a tan sólo 12,1 años. Con petróleo tendríamos para 3,4 años y con gas natural para 3 años.

Otra vez llegamos a la misma conclusión, el agua, como los materiales o la energía, son extremadamente baratos y porque lo son se despilfarran. El valor del agua no está contabilizado en la economía convencional. Sólo pagamos por los costes que el sistema económico gasta al suministrárnosla en nuestro domicilio limpia, abundante y con la garantía de ser luego depurada. El coste de la producción natural del agua no está incluido en el sistema económico y por ello la economía mundial abusa de ella, como lo hace de los demás materiales primarios naturales.

Energía y Desarrollo social

La energía subyace en toda acción. No existe acción sin energía que provoque el cambio, así que para extraer los materiales, para cambiarlos de composición o de forma, para transportarlos, para consumirlos y para desecharlos se requiere energía. Si ello es así, es sorprendente el poco valor que le damos a la energía, que, medida en términos económicos, supone alrededor del 5 % de nuestro Producto Interior Bruto.

La energía que nos ahorran los minerales al estar concentrados y con una composición favorable en las minas, la energía que nos ahorra el ciclo hidrológico natural movido por el Sol y la energía contenida en los combustibles fósiles una vez descontada la energía necesaria para paliar sus efectos contaminantes son el capital mineral de la Tierra que el hombre dispone para realizar todas sus actividades actuales y futuras.

Adicionalmente, hay que añadir las reservas de uranio y otros elementos transuránicos para reactores de fisión y de deuterio/tritio para reactores de fusión cuya consideración requiere un tratamiento más especializado que este autor adolece, pero que a todas luces no pueden descartarse como energía para el futuro dado el panorama general presentado en el artículo.

A la vista de esto, ¿podemos considerar que (más) desarrollo social es igual a (más) consumo? para responder a esta pregunta hay que matizar de qué tipo de consumo hablamos. Si consumir, según el diccionario de la Real Academia Española es: «(1) Destruir, extinguir. (2) Utilizar comestibles perecederos u otros géneros de vida efímera para satisfacer necesidades o gustos pasajeros. (3) Gastar energía o un producto energético», es evidente que el desarrollo social está limitado a los recursos disponibles que existen en la naturaleza. Ello implica que no todos los seres humanos que hoy viven, ni siquiera pocas generaciones de los descendientes de los que hoy mejor viven, van a poder consumir al ritmo de la sociedad desarrollada actual.

Como consumidores finales, no tenemos percepción del impacto ambiental de nuestro consumo. Las empresas necesitan vender sus productos y cuanto más vendan mejor irá la economía, más puestos de trabajo y mejor remunerados. Por otra parte, al existir más oferta en el mercado, los precios disminuyen por el efecto de la competencia y se estimula la creatividad; aparecen así nuevos productos y servicios que mejoran los anteriores y los deja rápidamente obsoletos. Nuestra sociedad está basada en estas premisas. La extensión global de las comunicaciones hace que ya no exista una sola área de la Tierra que no pueda ser conectada por teléfono móvil. La televisión, la radio, el cine, internet y el teléfono están omnipresentes y muestran un tipo de sociedad en la que el modelo es el de la sociedad occidental.

Es un modelo idealizado en el que las casas son mayores y están construidas de cemento, acero, madera y vidrio, hay más automóviles, más superficie ocupada, más calefacción y aire acondicionado, los vestidos son a la última moda y hay que cambiarlos cada temporada, los alimentos son exóticos, están bien preservados y son traídos de todas partes del mundo. Y no existe ningún rincón del planeta donde no se pueda ir de vacaciones, ni por supuesto adquirir una segunda residencia. Los hospitales, escuelas y centros públicos en general están bien dotados de medios materiales que hacen confortable y segura nuestra existencia. Por otra parte, los medios de comunicación tienen que vivir, su principal fuente de ingresos es la publicidad, así que ellos mismos se encargan de transmitir los más bellos mensajes para conseguir que compremos los productos que fabrican las empresas que nos dan trabajo para tener dinero para comprar los productos que fabrican las empresas. . .

El efecto es claro, toda la humanidad, independientemente de que las personas hayan satisfecho o no sus necesidades básicas, quiere más. Hemos destapado la caja de Pandora de los deseos incontrolados y hemos hecho infelices a los hombres porque nunca podrán ser colmados todos sus anhelos y aspiraciones. Simplemente cada vez les ofrecemos más y ni con todo el oro del mundo podrán adquirir todo lo que el mercado les ofrece.

No parece que la humanidad vaya a renunciar a corto plazo al modelo de desarrollo que consiste en estimular continuamente la oferta de productos y servicios a la mayor cantidad de personas. Incluso no sería ético hacer ignorante a una parte de la humanidad de las ventajas que tiene la otra parte. Al fin y al cabo el cerebro humano es la máquina más compleja y perfecta de que tengamos noticia, por tanto es el mejor recurso disponible. Así que hacer crecer en cantidad y en calidad a los seres humanos no puede ser más que positivo.

El problema está en los límites físicos. Frente al modelo teórico de la economía convencional que defiende el crecimiento sin límites, se opone la terca realidad de que el planeta está físicamente limitado. Los recursos fósiles y la biosfera son escasos y sensibles a perturbaciones. Cualquier producto o servicio que la sociedad oferta perturba en una determinada cantidad y calidad al planeta. Si ignoramos esta contrapartida de nuestro consumo, haremos insostenible la vida y con ella, disminuirá el número de cerebros que podrán pensar y revertir la situación.

Dice W. BERRY (1987), citado por DURNING (1994) que nuestra economía es tal que «no nos sale a cuenta cuidarnos de las cosas; la mano de obra es cara, el tiempo es caro, el dinero es caro, pero los materiales (las cosas de la creación) son tan baratas que no nos sale a cuenta cuidarlas». Éste es el punto clave, la permanencia del hombre en la Tierra está ligada a la permanencia de las cosas. El diseño robusto, la calidad, la larga duración y la reparabilidad de los bienes de consumo serán los criterios que poco a poco tendrán que ir penetrando en el diseño industrial.

La compra de bienes de consumo será sustituida por la compra del servicio que prestan. Aparecerán nuevas empresas que alquilarán electrodomésticos, ordenadores, muebles, envases, medios de transporte, calefacción, aire

acondicionado, etc, que se harán cargo *desde la cuna hasta la tumba* de los equipos. Igual que las fábricas más modernas imponen el *just in time* a sus suministradores para conseguir tiempos y gastos de almacenaje óptimos en el ensamblaje, habrá que reinventar el *just in time inverso* para que con el desensamblaje retorne a cada fabricante la parte del producto final que produjo. Los transportes no sólo optimizarán su viaje de ida al consumidor sino su viaje de retorno. Si toda la naturaleza funciona por ciclos materiales, el hombre debe aprender a cerrar sus ciclos materiales.

El modelo *reloj de arena* de la economía en el que vamos lenta y progresivamente convirtiendo la naturaleza en desechos debe ser abandonado por al menos el reloj analógico cuyas manecillas giran circularmente con un bajo y constante suministro de energía, o ¿quizá habrá ya que pensar en una transición a una economía digital en el que primen las transacciones virtuales sobre las reales? En el análogo, pasaríamos de golpe desde la clepsidra al reloj digital: menos energía, menos materiales, más servicios y más precisos. . .

Lejos de abominar el desarrollo tecnológico, es necesario que unos principios filosóficos, éticos y sociales lo dirijan. No vale todo. El automóvil no ha dado más libertad al ser humano, porque ahora se consume más tiempo en desplazamientos, se necesita trabajar más horas para pagarlo, las ciudades se han vuelto inhabitables, se está asfaltando literalmente el espacio vital, los conflictos sociales aumentan por la falta de comunicación y, al aumentar el ruido y el estrés urbano, nos alejamos del centro aumentando así nuestra dependencia del automóvil y nuestro aislamiento. No parece que visto con esta perspectiva podamos concluir que tener un automóvil sea sinónimo de desarrollo social y bienestar. Pero millones de familias de la China, la India, África, Sudamérica o de tantos otros países del globo suspiran por tenerlo. Es necesario y urgente poner pautas éticas al desarrollo. Y para ello se necesitan indicadores energéticos y de consumo de materiales. Aquí la ciencia desempeña un papel crucial porque debe avisar con tiempo y con claridad.

Es complicado propugnar estas ideas, clamando que la energía, el agua y los materiales son baratos, cuando el año 2000 está viendo una escalada de los precios del barril de crudo no vista en los últimos 10 años y que está acarreado importantes tensiones sociales. Sin embargo, la sociedad occidental tiene la suficiente inventiva como para acomodarse, en poco tiempo y después de algún periodo de inestabilidad social, a una nueva coyuntura que aceptara que los bienes naturales perecederos no pueden ser casi gratis. Ello redundaría en una desmaterialización y una desenergetización muy beneficiosa tanto a nivel global, al permitir que más personas de toda la Tierra pudieran compartir la tecnología del primer mundo, como a nivel histórico, dejando a las generaciones futuras el agua, la energía y los materiales que necesitarán para su desarrollo.

«El desarrollo social puede concebirse —como dice Amartya Sen, premio Nobel de Economía de 1998— como un proceso de expansión de las libertades reales de que disfrutaban los individuos. El desarrollo exige la eliminación de las principales fuentes de privación de libertad, es decir, la pobreza y la tiranía, la escasez de oportunidades económicas y las privaciones sociales sistemáticas, el abandono en que pueden encontrarse los servicios públicos y la intolerancia o el exceso de intervención de los Estados represivos. Una concepción satisfactoria del desarrollo debe ir mucho más allá de la acumulación de riqueza y del crecimiento del PNB y de otras variables relacionadas con la renta. El desarrollo tiene que ocuparse primero de mejorar la vida que llevamos y las libertades de que disfrutamos. Estas libertades son esencialmente las libertades políticas, la disponibilidad de los servicios económicos, la existencia de oportunidades sociales, las garantías de transparencia en la gestión pública y la seguridad protectora. En la búsqueda del bienestar habría que tener en cuenta no sólo los bienes primarios que poseen las personas, sino también las características personales relevantes que determinan la conversión de los bienes primarios en la capacidad de la persona para alcanzar sus fines» (SEN, 1999).

Referencias bibliográfica

BERRY, W.

1987 *Home Economics*

North Point Press. San Francisco

BOTERO, E.

2000 *Valoración exergética de recursos naturales: Minerales, agua y combustibles fósiles*

Tesis doctoral Universidad de Zaragoza

BROWN, L., R., RENNER, M., HALWEIL, B.

2000 *Signos vitales 2000. Las tendencias que guiarán nuestro futuro*

Editado por Bakeaz, Bilbao

CHAPMAN, P.F., ROBERTS, F.

1983 *Metal Resources and Energ.*

Butterworths, Londres

CONSEJO MUNDIAL DE LA ENERGÍA

1993 *Energía para el mundo del mañana. Realidades, opciones, objetivos*
Madrid, ISBN 84-7952-120-1

HUXLEY, A.

1980 *The Human situation*
Lectures at Santa Barbara, 1959. Triad Grafton Books, Londres

INSTITUTO DE RECURSOS MUNDIALES

2000 *Recursos mundiales. La guía global del medio ambiente*
Ecoespaña Editor. Madrid

NAREDO, J.M.; VALERO, A. (DIRS)

1999 *Desarrollo económico y deterioro ecológico*
Fundación Argentaria. Madrid

SCHMIDT—BLEEK, F.

1997 *Wieviel Umwelt brauch der Mensch? Faktor 10—das Mass für ökologisches Wirtschaften*
Deutscher Taschenbuch Verlag. Munich

SEN, A.

1999 *Desarrollo y libertad*
Planeta. Barcelona

DURNING, A.T.

1994 *Cuánto es bastante. La sociedad de consumo y el futuro de la Tierra*
Eds. Apóstrofe. Barcelona

VALERO, A.; LOZANO, M.A.; MUÑOZ, M.

1986 «A General Theory of Exergy Saving»
ASME. AES, Vol. 2–3. *Computer-Aided Engineering and Energy Systems. Vol. 3: Second Law Analysis and Modelling*, Ed. R.A. Gaggioli, ASME Book No. H0341C, pp. 1–22. Nueva York

WORLD WATCH INSTITUTE (BROWN, L. ET AL.)

1999 *State of the World 1999*
Washington