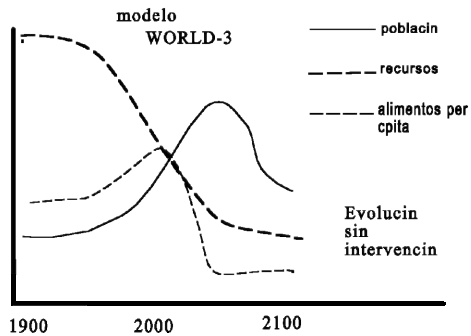


CAPÍTULO 1

SOSTENIBILIDAD Y ARQUITECTURA



Curvas de los modelos de los sistemas World-2 y World-3 que soportan la obtención de conclusiones del informe del Club de Roma.

J.A. Pascal Trillo, *Una propuesta de análisis para una sociedad sostenible*, platea.pntic.mec.es/~martini/sosten.htm Consulta en línea, 01/2009.

1.1 La sostenibilidad y la arquitectura

Si bien los antecedentes de alcance global en la discusión del problema ambiental de la sociedad industrial son muchos y complejos podría decirse que las primeras expresiones de repercusión masiva se sitúan en la década del 60, con la realización de las primeras protestas sobre la difusión de la energía nuclear [Ponting 1992]. Más tarde, una situación similar se producía, a partir de la crisis del petróleo de 1973, cuando la Organización de los Países Exportadores de Petróleo Árabes anunció que suspendía las exportaciones de crudo a los estados que habían apoyado a Israel durante la guerra del Yom Kippur. La Organización de Países Exportadores de Petróleo (OPEP), por su parte, acordó utilizar su influencia sobre la fijación del precio para cuadruplicar su valor. A partir de ello en algunos países industrializados se desencadenó un desabastecimiento y un aumento en el precio de los derivados del petróleo sin precedentes que, con graves repercusiones en la economía debido a la disminución del ritmo de la producción, ayudó a poner en tela de juicio al modelo de desarrollo basado en el consumo ilimitado de la energía fósil.

Poco antes, aunque ya con la contaminación atmosférica derivada de la combustión de fuentes de energía fósil visible en el cielo de algunas de las grandes ciudades, a comienzos de los años 70, se publicaba el informe “Los límites del Crecimiento” encargado al Massachusetts Institute of Technology [Meadows et al. 1972] que, mediante la simulación informática del programa World3 del aumento de la población, el crecimiento económico y el incremento de la huella ecológica de la población en los próximos 100 años, puso en crisis al desarrollo económico desentendido de su relación con el deterioro ecológico. Posteriormente el tema fue retomado por varios autores que plantean la necesidad del decrecimiento económico [Latouche 2008] a partir del reconocimiento de que el crecimiento infinito es incompatible con un mundo limitado.

Sobre los años 70 aparecen también las primeras interpretaciones respecto de la gestión del declive, la decadencia y el deterioro de las estructuras materiales –los materiales, los edificios, las infraestructuras, las ciudades- entendidas como parte de la vida y del crecimiento natural [Lynch 2005].

Ya bien entrados los años 80 se produce el primer gran acuerdo internacional que definió la dimensión contemporánea del problema ambiental: la sostenibilidad. En 1987 se conoció el trabajo encargado por la Organización de Naciones Unidas a la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, titulado *Nuestro Futuro Común*

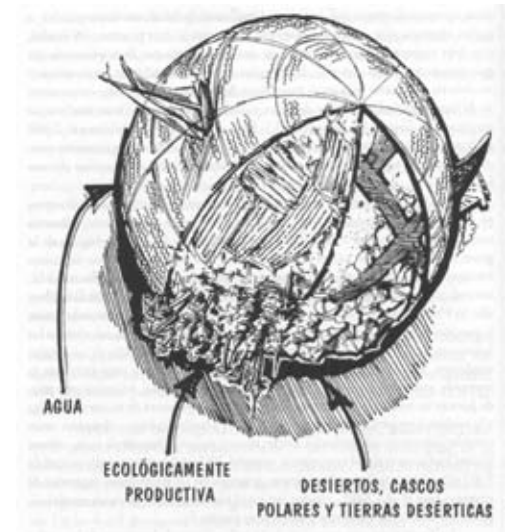
¹ [WCED 1987]. En el también conocido como informe Brundtland se utilizó por primera vez el término desarrollo sostenible, definiéndolo como aquel que es capaz de satisfacer las necesidades de las generaciones actuales sin hipotecar la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades. A partir de ello, y a pesar del debate planteado sobre la contradicción que podría suponer el alcance del término desarrollo unido a la palabra sostenible, así como por la supuesta ambigüedad que podría tener tal definición a la hora de marcar los límites entre lo ambientalmente correcto o incorrecto, el crecimiento económico y la afectación de los recursos naturales quedaron absolutamente ligados.

La demanda de sostenibilidad del informe Brundtland está relacionada directamente con el desarrollo económico y social. Es un planteamiento dirigido específicamente al campo de la economía, aunque evidentemente y como se verá más adelante en el caso de la arquitectura afecta también al resto de las disciplinas.

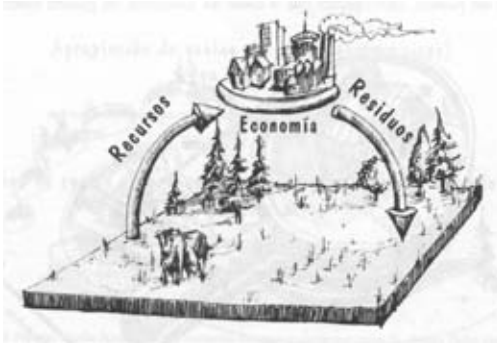
La satisfacción de las necesidades actuales a que se refiere la definición del desarrollo sostenible se produce en la sociedad a través de la provisión de bienes y servicios generados por el sistema productivo, en los que se emplean y transforman recursos obtenidos de la tierra que pueden resumirse en el gran conjunto de los materiales, ya que aun la mayor parte de la energía que utilizamos proviene mayoritariamente de ellos, más específicamente de los combustibles fósiles y el uranio en el caso de la energía nuclear.

La tierra cuenta con una cantidad limitada de materia, debido a que a escala planetaria no se producen aportaciones ni extracciones de materiales (los meteoritos serían una excepción a esta regla), aunque muy lentamente ésta cambia de estado y de organización a través de los ciclos biosféricos y geológicos que la afectan. De tal manera y a nivel de elementos químicos se puede afirmar que la cantidad de materia que compone el planeta ha sido, es y será la misma, no obstante que su ley de organización se modifique debido a lo que se conoce como degradación entrópica, un proceso natural muy lento que provoca el desorden y la dispersión de los materiales.

De tal forma estos materiales, sean bióticos o abióticos, cuando se encuentran organizados en conformaciones alejadas del estado termodinámicamente muerto, o de baja entropía, componen el único stock de capital natural con que cuenta el planeta. Nuestro sistema productivo los utiliza como materias primas para la fabricación de productos o la prestación de servicios y, debido a que bajo las condiciones del modelo productivo dominante no se realiza el reciclaje de los recursos invertidos, más tarde o más temprano éstos acaban convirtiéndose en residuos gaseosos, líquidos o sólidos dispersos sobre la biosfera, en cantidades y ritmos muy superiores a la capacidad del planeta para digerirlos o regenerarlos. Este tránsito constante y creciente de recursos hacia residuos afecta el stock de capital natural



Representación de los distintos tipos de suelos de la tierra según su productividad ecológica. M. Wackernagel y W. Rees. *Nuestra huella ecológica: Reduciendo el impacto humano sobre la Tierra*, IEP/Lom Ediciones, Santiago, 2001.



Representación del flujo lineal de extracción de recursos, uso y generación de residuos de la sociedad industrial.

M. Wackernagel y W. Rees. *Nuestra huella ecológica: Reduciendo el impacto humano sobre la Tierra*, IEP/Lom Ediciones. Santiago. 2001.

disminuyéndolo por degradación, por pérdida de su utilidad ecológica, e incumpléndose así la condición de sostenibilidad que enunciaba el informe Brundtland. En efecto, si para satisfacer las necesidades de las generaciones actuales se afecta el stock de capital natural haciendo que se degrade, la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades se verá disminuida o, tal como se dice coloquialmente, hipotecada.

El cálculo económico ordinario valora los bienes, los recursos no renovables en este caso, por su coste de extracción, que en el orden actual acostumbra a ser más elevado, y no por el de reposición. De allí que haya prevalecido siempre la extracción frente al reciclaje, hecho por el que igualmente se deberá pagar en algún momento, tal como se ve en la externalización de los costes de la reconversión energética a medida que se acerca el agotamiento de los combustibles fósiles². Se distancia de esta forma el modelo productivo de la civilización industrial del modelo de sostenibilidad que ofrece la biosfera, que se caracteriza justamente por lo contrario: el reciclaje constante y la inexistencia de los residuos, que no son tales sino nutrientes [Naredo et al. 1999]. Aquí precisamente es donde aparece una oportunidad de reordenamiento de la economía, mediante la incorporación de los costes ambientales al precio regular de los bienes y los servicios o bien a través de la limitación de la capacidad de emisión de residuos al medio³.

Puede decirse que el reto del informe Brundtland ha tenido una amplia repercusión en el campo de la economía, desde dos grandes visiones identificadas como la economía ambiental y la economía ecológica. La primera de ellas considera el problema desde la sostenibilidad débil, mientras que la segunda lo hace desde la sostenibilidad fuerte, siendo los alcances de ambas teorías muy diferentes y no debiendo entenderse su formulación como la respuesta que cada una de ellas dirige hacia la otra, sino como enfoques alternativos y opuestos. En tal sentido no son complementarias, la opción por una de ellas supone el abandono de la otra.

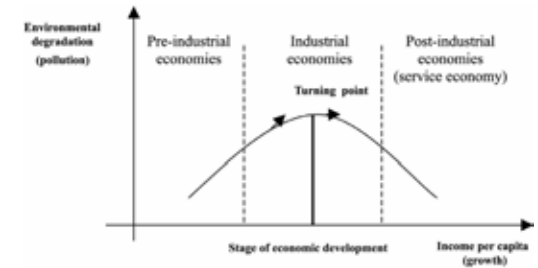
La sostenibilidad débil está formulada desde la racionalidad de la economía estándar. La sostenibilidad fuerte, en cambio, parte de la racionalidad de la termodinámica considerada como la economía de la física y de la ecología considerada como la economía de la naturaleza. En forma resumida puede decirse que el criterio de sostenibilidad débil considera que el capital natural puede sustituirse mediante otro producido por el hombre, es decir por medio de aportaciones monetarias, mientras que el criterio de sostenibilidad fuerte sostiene que el capital natural no puede sustituirse y por tanto debe evitarse su deterioro y ser conservado.

La economía ambiental, desde la visión de la sostenibilidad débil, responde a la demanda de la sostenibilidad desde dentro del enfoque dominante de la propia disciplina. A partir de

ello, lo que se propone es mantener estable el valor de la producción a lo largo del tiempo, es decir el nivel económico del conjunto de bienes y servicios, porque entiende que ello es vital para la satisfacción de las necesidades de las generaciones tanto presentes como futuras, hablando en términos del informe Brundtland. El valor de la producción lleva a la consideración de sus factores determinantes, que son las materias primas, el capital y el trabajo, siempre según la consideración de la economía estándar. Tradicionalmente ha sido reconocido que existe una elasticidad de los factores, es decir una capacidad de sustitución entre ellos gracias a los cambios tecnológicos, que ha hecho posible que la producción se mantenga constante o aun en crecimiento aunque uno de ellos disminuya. De tal manera tanto el avance de la tecnología favoreciendo al aumento en la eficiencia del sistema, así como el aumento del capital sustituyendo al trabajo han sido las principales tendencias en la evolución de la producción.

La demanda física de la sostenibilidad es interpretada desde este enfoque de la economía como la necesidad de compensar la progresiva disminución de las materias primas, a partir de entender y aceptar que el capital natural del planeta es degradado por el sistema productivo y que a partir de ello sufre una paulatina pero constante reducción de stock. Retomando el concepto de flexibilidad de la función de la producción ya comentada, la economía ambiental propone afrontar la disminución de las materias primas mediante una inversión de capital, de forma tal que la producción pueda mantenerse en forma constante y a partir de ello las demandas de la sociedad no sufran ninguna restricción.

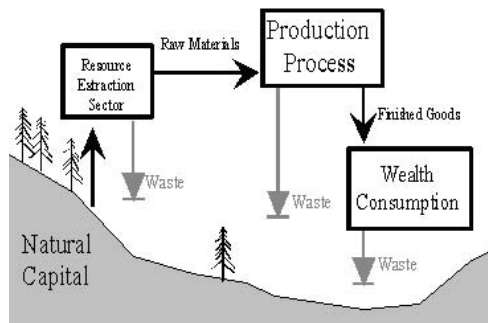
A partir del razonamiento anterior, por ejemplo, la Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética en España para el período 2004-2012, también denominada E4, plantea una serie de acciones ambientales tendientes a la reducción de la contaminación atmosférica, a la diversificación y al aumento de la eficiencia en el uso de la energía, para las cuales prevé un determinado financiamiento y una repartición de la carga económica entre los sectores directamente involucrados. Todo ello intentando que la productividad del sistema no se vea reducida y la competitividad de la economía no se vea afectada⁴, es decir haciendo que la cantidad de capital necesario para crear una unidad de valor económico no aumente. Se trata de una compensación del deterioro ambiental a través de una inversión económica, con lo que puede decirse que se está haciendo una cierta valoración monetaria del capital natural afectado. Algo parecido ocurre con los derechos de emisión de gases de efecto invernadero derivados del Protocolo de Kyoto⁵ ya que reducir su liberación o pagar por el derecho a seguir liberándolos implica una inversión de capital y por tanto la fijación de un valor económico sobre el capital natural afectado, en este caso representado por los efectos de deterioro que



Source: Panayotou (1993)

Representación del flujo lineal de extracción de recursos, uso y generación de residuos de la sociedad industrial.

M. Wackernagel y W. Rees. *Nuestra huella ecológica: Reduciendo el impacto humano sobre la Tierra*, IEP/Lom Ediciones. Santiago. 2001.



Esquema de la afectación del capital natural por parte de la sociedad industrial.
 Natural Capital Accounting and the ECCO model.
www.rui.co.uk/slesser/natural.htm Consulta en línea, 10/2006.

	Enfoque biológico (medios)	Enfoque ético (fines)
Economistas biológicos	Frederick Soddy, Kenneth Boulding, N. Georgescu-Roegen, John (o A.) Lorka, J. Collier, R. Wilkinson	Críticos pioneros del industrialismo: John Ruskin, Thomas Carlyle, Henry Thoreau, William Morris
Ecólogos	Rachel Carson, Paul Ehrlich, Garrett Hardin, Barry Commoner, Margaret J. Savard, Eugene Odum	Crítica distributiva: G.K. Chesterton, H. Belloc
Ecólogos de sistemas	Howard Odum, Kenneth Watt	Economistas humanistas: J.S. Mill, E.F. Schumacher, E.J. Mahan, D. Goulet, H. Daly
Geólogos	M.K. Hubbert, Earl Cook, Harrison Brown, Preston Cloud	Críticos de la sociedad tecnológica: Lewis Mumford, Ivan Illich, Jacques Ellul, Theodore Roszak
Ingenieros de sistemas	Jay Forrester, Dennis Meadows, Meadows y Pestal, Tendencias de los años 30	Teología ecológica: Thomas Dicke, John Cobb, Frederick Biber
Conservacionistas	G.P. Marsh, William Vogt, David Brown, Denis Hayes	Ciencia política de la supervivencia: William Ophuls, Richard Falk, L.K. Caldwell
Demógrafos	K. Davis, N. Koyzis	
Físicos	A. Lewis, D. Abrahamson	

Frederick Daly, H. E. (1976) «Energy growth...», op. cit., p. 71. A pesar de las limitaciones de esta clasificación, creemos que A.J. Lorka deberá estar entre los ecólogos. Las referencias bibliográficas de estos autores se encuentran en el citado artículo.

Tradiciones intelectuales críticas con el crecimiento económico hasta finales de la década de los 70
 Óscar Carpintero, *El metabolismo de la economía española*, Fundación César Manrique, Lanzarote, 2005

sobre él tienen el aumento de la temperatura en la superficie del planeta y el consecuente cambio del clima que ello provoca.

En esta línea se incluye también el tratado de Ámsterdam de 1997 que establece el desarrollo sostenible como uno de los objetivos de la Unión Europea, así como sus principales directrices de política ambiental. Se plantea allí que, teóricamente, el crecimiento económico y el desarrollo sostenible pueden compatibilizarse mediante la puesta en marcha de estrategias que sean capaces de producir un desacoplamiento entre producción de bienes y servicios e impacto ambiental. En los últimos años esta reducción relativa se ha conseguido en algunos flujos de emisiones (el dióxido de azufre o el óxido de nitrógeno, por ejemplo) aunque en otras se ha registrado un crecimiento (dióxido de carbono o residuos sólidos, por ejemplo) algo menor que el PIB de la región. En consecuencia la capacidad de estas estrategias para revertir la condición de insostenibilidad del sistema económico sigue, por tanto, puesta en duda [Cuchi 2005].

Para que este planteamiento de la sostenibilidad débil pueda ser llevado a la práctica sería necesario detectar y conservar los servicios ambientales que se consideren esenciales para la vida y para la continuidad de la producción, establecer cuáles serían los valores monetarios que compensarían la disminución de las materias primas o recursos extraídos de la corteza de la tierra y definir la gestión que debería desplegarse sobre los recursos no renovables utilizando esa inversión de capital sin que se produzcan pérdidas de productividad. El paradigma del desarrollo sostenible de la economía ambiental, en forma resumida, puede ser entendido como la capacidad de desconectar el crecimiento económico y la afectación de los recursos naturales.

La economía ecológica, desde la visión de la sostenibilidad fuerte, responde a la demanda de la sostenibilidad desde fuera del enfoque dominante de la propia disciplina. Esta alternativa a la visión estándar tiene sus antecedentes en las discusiones sobre las relaciones que existen entre la economía y la naturaleza al menos desde mediados del siglo XIX y que más recientemente fueron protagonizadas por autores, por citar sólo algunos, como N. Georgescu-Roegen, H. Daly, F. Soddy, D. Meadows y también J. Martínez Alier, J.M. Naredo, A. Valero y O. Carpintero, entre otros, en el contexto español contemporáneo.

La economía ecológica asume que la economía es un subconjunto de la ecología [Martínez 2001] entendiendo que, si la primera analiza las transacciones de materia y energía de la vida sobre la tierra, por definición no puede ser separada del sistema formado por todos los recursos del planeta. La sostenibilidad fuerte, como ya se ha avanzado, sostiene que el capital natural no es sustituible indefinidamente por los otros factores de la producción y que, por tanto, debe ser conservado. En tal sentido el capital humano es complementario al capital

natural -en vez de intercambiable- ya que de una u otra forma siempre proviene de la apropiación y utilización del primero. A partir de estas consideraciones, resulta muy difícil poder establecer un valor monetario para la sustitución de capital que supone el deterioro ecológico (por ejemplo cuál sería el equivalente en dinero de la absorción del dióxido de carbono de las actividades industriales que realizan las plantas industriales, o cuánto cuesta a la sociedad, en moneda vigente, el agotamiento de un recurso).

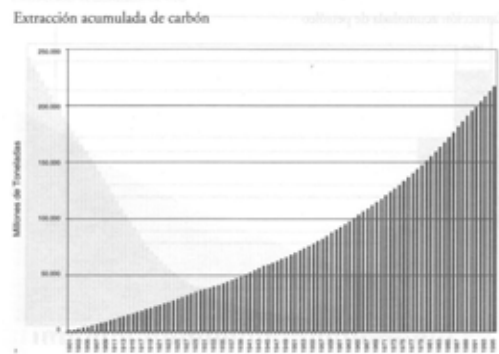
Este último punto, la cuestión de la valoración dineraria de los recursos naturales, es uno de los temas clave en la crítica que se hace desde la economía ecológica hacia la economía ambiental [IAU+S 2005]. Es sabido cuánto cuesta acceder al derecho de explotación de un determinado recurso, una cantera de áridos por ejemplo, y también cuánto cuesta extraer, procesar y transportar la sustancia mineral para que tenga utilidad industrial. Pero todo ello no tiene relación alguna con el valor del recurso, el material que se extrae, creado por la naturaleza durante miles de años de acción de los ciclos geológicos sobre la formación y la transformación de materiales. Los derechos de explotación, dentro de un sistema económico que no tiene en cuenta el coste de reposición del capital natural, sólo tienen un valor simbólico que representa el precio que la sociedad ha establecido, en un determinado momento, como tasa de acceso al reparto de los recursos naturales.

Una posible forma de estimar el valor monetario de la reposición del capital natural podría obtenerse a partir de calcular cuánta energía sería necesaria para reestablecer un determinado recurso natural una vez ha sido utilizado, tomando como punto de partida a los residuos generados en las distintas etapas del proceso de producción y como punto de llegada las materias primas originalmente afectadas, en el estado en que se encontraban. A modo de ejemplo pueden considerarse los combustibles fósiles. Se debería comenzar por recoger los productos de su combustión en las distintas etapas de su ciclo de vida y a partir de ellos constituir de nuevo las moléculas originales del compuesto tal como fue extraído de la tierra. En tal proceso, extremadamente complejo por cierto, sería necesario emplear más energía que la aportada por la propia combustión del combustible [Gutiérrez, Naredo 2005] y, en consecuencia, desde el punto de vista de la sostenibilidad fuerte las fuentes fósiles carecerían de aptitud como materiales portadores de energía.

De acuerdo con los principios establecidos por las leyes de la termodinámica, la energía se conserva. Esto resulta algo difícil de entender pero, si por ejemplo se considera un trozo de leña ardiendo, la energía térmica que desprende su combustión puede ser analizada como su exergía, o la capacidad de realizar un trabajo a partir de un flujo de energía (y no de un stock de energía). Las partículas de carbono emitidas al aire y convertidas al reaccionar con el oxígeno atmosférico en moléculas de dióxido de carbono CO₂ luego serán fijadas por los



Análisis energético del ciclo de vida y el coste ecológico a Análisis energético del ciclo de vida de un producto y su relación con otros análisis al uso. Naredo J.M y Valero A. (eds), *Desarrollo económico y deterioro ecológico*, Fundación Argenteria/Visor, Madrid, 1999



La extracción indiscriminada de recursos naturales y su posterior conversión en residuos, el aumento de la entropía, es una característica inseparable del actual sistema de producción. Si bien en este caso la gráfica es la del carbón, representa la tendencia de muchos otros materiales. Naredo J.M y Valero A. (eds), *Desarrollo económico y deterioro ecológico*, Fundación Argenteria/Visor, Madrid, 1999

árboles y otras especies vegetales gracias a la captura atmosférica que realizan durante años con el concurso de la energía solar recibida, recomponiéndose así la energía contenida por el trozo de leña original en una forma nuevamente utilizable [Naredo, Valero et al. 1999].

De tal manera y de acuerdo con el Primer Principio de las leyes de la termodinámica, la energía se conserva en cantidad -en este caso a través de la persistencia de las partículas de carbono- aunque no solemos extraer utilidad de ella debido al grado de dispersión en el que se encuentra en la atmósfera una vez ocurrida la combustión (es decir que hay exergía en la entalpía de cada combinación química, en las distintas mezclas que se producen y también en forma potencial, aunque usualmente no resulta aprovechable), llegándose así a la representación del Segundo Principio, que es el de la tendencia natural a la entropía o degradación de la energía por desorden y dispersión. Del mismo modo que en el ejemplo de los combustibles fósiles, reconvertir los residuos en recursos necesita de una cantidad de energía mayor a la obtenida en la combustión, aunque proveniente de una fuente considerada, en términos temporales humanos, como inagotable y por tanto entendida como renovable. Sobre este ciclo se basa la renovabilidad de la energía de biomasa que se produce gracias a los intercambios de la biosfera ya comentados en el párrafo anterior.

Esta idea de desandar el camino andado, considerado en términos de exergía entendida ahora como la cantidad de energía necesaria para convertir los residuos en los materiales originales, es de gran utilidad para realizar una valoración ambiental adecuada de la afectación de stock de capital natural que suponen los procesos de extracción, fabricación, uso y emisión de residuos del modelo de producción dominante, que comenzó a formarse en la revolución industrial y que desde el punto de vista ambiental se mantiene vigente hasta nuestros días, que caracteriza también a la materialización de la arquitectura.

La valoración de la afectación de capital natural que supone un material, un producto, un componente, o un edificio, podría realizarse calculando la cantidad de exergía que sería necesaria para reconvertir los residuos generados durante su ciclo de vida nuevamente en recursos y ésta podría ser una unidad de medida más adecuada para conocer su comportamiento de cara a las demandas físicas de la sostenibilidad. Aunque su desarrollo es incipiente y su aplicación en procesos de evaluación corriente algo compleja, disponemos ya de algunos valores energéticos de diversos materiales [Gutiérrez, Naredo 2005].

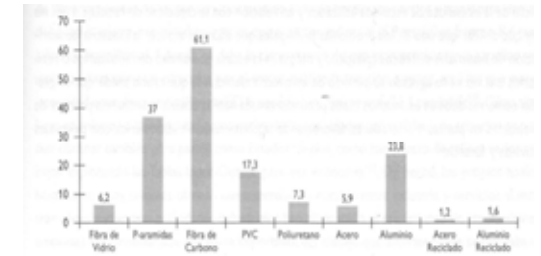
La materia ni se crea ni se destruye sino que se transforma⁶ y a partir de ello no es correcto hablar de producción y consumo de materiales en nuestra sociedad. En términos estrictos no existe la producción de materiales sino la transformación del stock con que cuenta el planeta por parte de la naturaleza a través de la acción de los ciclos biosféricos y geológicos hacia estados de menor entropía, actuando posteriormente la industria sólo en los

procesos que los reordenan y transforman. Tampoco es exacto decir que hay un consumo de los materiales, sino que en realidad se agota el servicio que ellos prestan cuando están ordenados de una cierta manera, todo lo cual hace que pierdan su utilidad económica y por tanto se conviertan en residuos, sin que por ello haya mermas de materia.

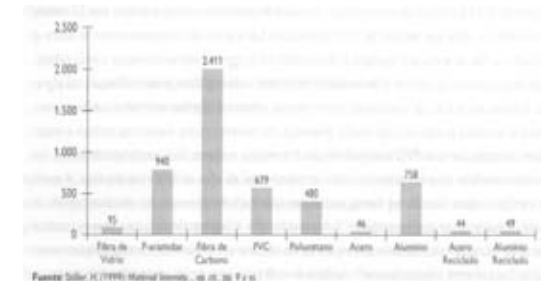
Los materiales que son habitualmente considerados como recursos, las materias primas, se diferencian del resto de los que forman la corteza de la tierra a partir de presentar un cierta composición u orden que resulta adecuada para la utilidad final buscada en el producto que se fabricará a partir de ellos. Lo que diferencia a un mineral comercial de otro material de origen geológico es justamente esa potencial utilidad, a partir de la concentración de un determinado compuesto, como ocurre por ejemplo un metal. Es decir que la baja entropía es necesaria para la utilidad y la utilidad a su vez es una condición necesaria, pero no suficiente, para que posea un valor monetario. Las enormes masas de menas y estériles que la industria de la minería extrae del subsuelo y convierte inmediatamente en residuos no han encontrado valoración alguna en la economía estándar -aun más, ni siquiera se las suele contar- precisamente por que no se ha hallado en ellas utilidad para la satisfacción de una demanda específica de la sociedad.

La industria utiliza materiales y energía, que como se ha comentado también proviene mayoritariamente de los materiales, en la fabricación de productos concebidos para la prestación de un servicio determinado. Cumplido éste, en plazos que pueden variar entre días y años contados a partir de la extracción de las materias primas, se produce la pérdida de la utilidad y por tanto los materiales invertidos -que en muchos casos no ha sufrido ningún cambio en su composición- se convierten en residuos.

La extracción de materias primas, su transformación en productos y la extracción de la utilidad de estos a través de su uso conforman una cadena de generación de residuos diversos que se dispersan en el medio, acelerando enormemente el proceso natural de degradación entrópica que conduce a los materiales y a la energía a su máxima dispersión y desorden en el planeta. Se trata de una destrucción de baja entropía y por tanto, es una destrucción de la utilidad. Lo que habitualmente entendemos como ciclo productivo y de consumo es, desde el punto de vista de la sostenibilidad fuerte, un proceso de conversión de recursos en residuos dispersos que destruye sistemáticamente el capital natural con que cuenta el planeta. La consideración física de la demanda de la sostenibilidad indica exactamente lo contrario, es decir conservar el capital natural, porque es la única forma de evitar que, volviendo a Brundtland, las generaciones futuras no puedan disponer de las mismas posibilidades que las actuales para satisfacer sus necesidades.

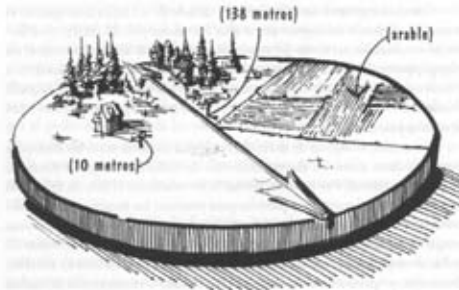
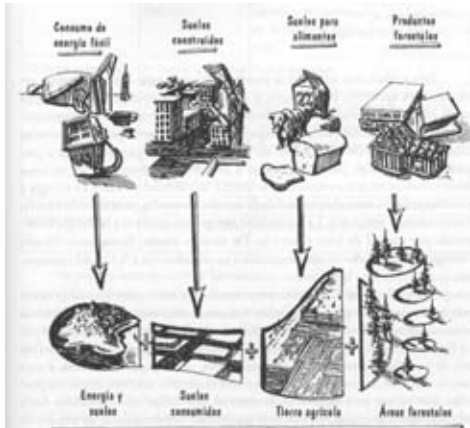


Fuente: Salter, H. (1995) *Material Intensity of Advanced Composite Materials, Walled Paper, etc.*, pp. 9 y 10.



Fuente: Salter, H. (1995) *Material Intensity*, pp. 10, 11 y 12.

Requerimientos totales de energía y materiales (primer cuadro) y de agua (segundo cuadro) para la fabricación de diversos productos industriales. Óscar Carpintero, *El metabolismo de la economía española*, Fundación César Manrique, Lanzarote, 2005.



Tipos de suelo ecológicamente productivos que la nuestra sociedad industrial afecta con su demanda de bienes y servicios y superficie promedio (actualmente supera los 150 metros) afectada por cada persona en el planeta.

M. Wackernagel y W. Rees. *Nuestra huella ecológica: Reduciendo el impacto humano sobre la Tierra* (edición original en inglés de 1996) IEP/Lom Ediciones Santiago

Si esta fuera una discusión como la que podría sostener un grupo de inversores en torno a cómo conservar y hacer crecer su capital durante sus vidas, quizás no sería necesaria ninguna explicación respecto de los riesgos que comporta actuar de espaldas al deterioro. A nadie se le ocurriría destruir su propio capital.

Es sabido que los organismos vivos necesitan degradar energía y materiales para mantenerse vivos, y que este es un proceso natural [Benyus 2005]. El inconveniente consiste en haber ido, como sociedad industrial, mucho más allá de la capacidad de carga que permite el planeta. El único modo de que este proceso, ahora enormemente acelerado, no conduzca a un deterioro entrópico de la tierra es articular esa degradación sobre el único flujo de energía renovable que recibe el planeta, procedente del sol y sus derivados, realizando a la vez un reciclaje completo de los materiales, tal como lo ejemplifica el fenómeno de la fotosíntesis, que permitió el desarrollo de la biosfera y de la especie humana.

Las actividades de la sociedad industrial pueden ser valoradas, en términos de impacto ambiental, mediante el cálculo de la afectación sobre la biosfera que ellas suponen bajo la exigencia de cerrar el ciclo mediante los recursos naturales. Este concepto, denominado como huella ecológica [Rees, Wackernagel 1996] expresa la cantidad de tierra productiva de la superficie de la tierra que es necesario afectar para producir un determinado recurso y absorber los residuos que se generarán durante su ciclo de vida.

Para calcular cuánta biosfera es necesaria para cerrar el ciclo de una determinada cantidad de combustibles fósiles los autores proponen tres aproximaciones diferentes: considerar su sustitución por etanol producido a través del cultivo de plantas y su posterior procesado para la formación de alcohol vegetal; estimar su reemplazo mediante combustibles obtenidos de biomasa también obtenida mediante el cultivo de plantas; y finalmente estudiar la captura del gas CO₂ liberado durante la combustión por medio de la absorción que realizan los árboles. El equivalente en territorio productivo permite establecer comparaciones de eficiencia energética entre las distintas fuentes de energía que demuestran, por ejemplo, que la energía hidroeléctrica necesita dos veces menos biosfera que la de origen fósil para producir sus recursos y absorber sus residuos. La misma comparación otorga a la energía solar térmica una eficiencia cuatrocientas veces superior a la de origen fósil.

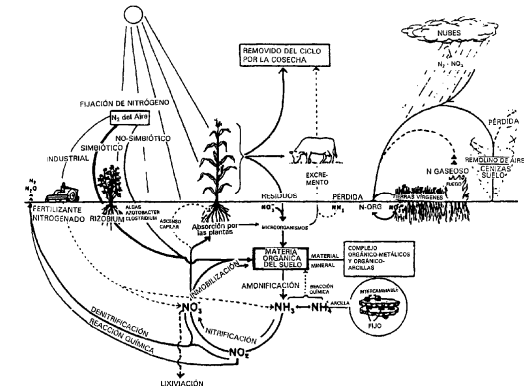
Teniendo en cuenta que existe una cantidad limitada de biosfera la huella ecológica permite, además de hacer comparaciones de impacto ambiental entre distintos tipos de actividades humanas, expresar la afectación que la sociedad industrial realiza sobre el stock de capital natural con que cuenta el planeta y de este modo obtener una medida de su insostenibilidad. Calculado el gasto energético total mundial y estimada la cantidad de biosfera necesaria para soportarlo, se llega a saber que actualmente la civilización humana

está actuando como si dispusiera de 1,35 veces la cantidad de tierra productiva que tiene la tierra. Debido a que esta sobrecarga no es temporal sino permanente y que además tiene tendencia creciente, el resultado es una sobreexplotación de los recursos naturales. Se causa así un deterioro ecológico que, irremisiblemente, se traduce en una disminución del stock del capital natural, problema del cual deberán hacerse cargo las generaciones futuras, y por tanto en el incumplimiento de la demanda de sostenibilidad establecida en el informe Brundtland. Si el cierre de ciclos es la condición necesaria de la sostenibilidad, hacerlo con el uso de la huella ecológica que disponemos establece la suficiencia de la condición.

Si lo que conocemos hasta ahora como ciclo productivo y de consumo convierte los recursos en residuos, el principal reto de la sostenibilidad en la transformación de los sectores de la industria y la comercialización es lograr invertir el flujo, convirtiendo los residuos nuevamente en recursos. Y si se encuentra la manera de hacerlo, no habrá inconveniente en volver a utilizar los materiales recuperados, porque no perderán ya nunca su condición de recursos. El gran desafío de la industria, en el que esta investigación intenta hacer una aportación concreta, es cerrar los ciclos materiales en todos los procesos técnicos. Esa exigencia de sostenibilidad requiere reciclar todos los residuos hasta devolverles la calidad de recursos, y hacerlo en un ritmo adecuado [Cuchi 2005] y ello tiene al menos tres condicionantes:

- Un uso de la energía que sea capaz de cerrar sus propios ciclos materiales.
- Una tecnología para recuperar, concentrar y reorganizar los residuos dispersos.
- Una organización social que mantenga el interés económico sobre este proceso.

En efecto, la biosfera es el ejemplo y es el modelo de tecnología de que se dispone para cerrar el ciclo de los materiales. La tierra no intercambia materiales con su entorno ni genera residuos, sino que recicla la materia constantemente, empleando en ello energía también renovable. La biosfera, la litosfera y la hidrosfera funcionan como grandes depósitos, zonas de tránsito y transformación de materiales que aprovechan el movimiento del agua en su ciclo hidrológico entre la biosfera y la atmósfera producido por la energía solar y la gravedad, así como las transformaciones materiales que produce la energía geotérmica en la litosfera y el fondo de la hidrosfera. La biosfera basa su estrategia de gestión de los materiales sobre el ciclo del agua y la energía captada por las plantas verdes, aprovechando al primero como gran cinta transportadora de materiales y a la segunda como la energía necesaria para operarla. Y la industria tiene en ella a su principal referente frente al reto de la sostenibilidad.



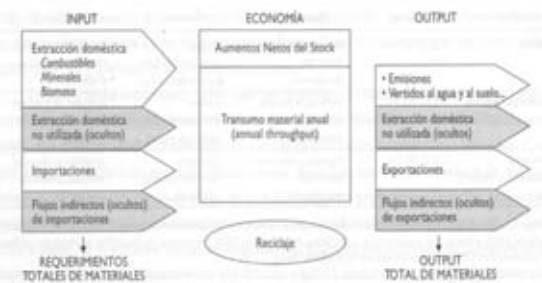
Esquema del ciclo del nitrógeno en la biosfera que expresa la complejidad y la relatividad de los flujos desencadenados para cerrarlo, ejemplo de la consideración de un sistema como metabolismo ordenado de materiales.

FAO, ONU, *La lucha contra la contaminación agrícola de los recursos hídricos*. Consulta en línea 10/2007
www.fao.org/docrep/W2598S/w2598s05.

Sociedades cazadoras y recolectoras	Sociedades agrarias	Sociedades industriales
10-20 (comida, leña, ...)	65 (aprox.) alimentación: 3 piensos: 50 leña: 12	223 energía fósil: 125 hidroeléctrica: 23 leña y madera: 33 biomasa agrícola: 42
1 (aprox.) (comida, leña, ...)	4 (aprox.) alimentación: 0,5 pienso (m.s): 2,7 madera: 0,8	21,5 biomasa agrícola: 3,1 madera: 3,3 energía fósil: 3,0 arena, grava, ...: 9,0 otros: 3,2

Metabolismo económico por habitante y año de diferentes modos de producción. La energía está expresada en GJ (GigaJulios) y los materiales en t (toneladas).

Fischer-Kowalsky, M y Haberl (1997) <<Tons, Joules...>> op. Cit. P70 en Óscar Carpintero, *El metabolismo de la economía española*, Fundación César Manrique, Lanzarote, 2005.



Esquema simplificado del balance de materiales para la economía nacional, adaptado de EUROSTAT (2001).

Óscar Carpintero, *El metabolismo de la economía española*, Fundación César Manrique, Lanzarote, 2005.

1.2 La ecología industrial y la arquitectura

Hacia la década del 60 del siglo XX ciertos autores como R. Ayres, H. Daly, K. Boulding y N. Georgescu-Roegen, entre otros, iniciaron una discusión teórica de gran interés sobre un nuevo enfoque conceptual que sería retomado con mayor intensidad y capacidad de puesta en práctica hacia los años 90: el metabolismo y la ecología industrial.

La noción de metabolismo económico, de gran utilidad a la hora de contar los flujos de energía y materiales que atraviesan las economías, ya contaba por entonces con antecedentes en diversas disciplinas. En primer lugar, permite cuantificar los flujos materiales expresándolos en cantidades de peso o masa por unidad de tiempo y ello adquiere relevancia ambiental ya que debido a las características del sistema de producción y consumo de la sociedad industrial ya comentadas, tales flujos permiten determinar la emisión de residuos que serán vertidos en la biosfera posteriormente. En segundo lugar, también hace posible establecer el flujo de energía necesario para transportar y procesar tales materiales de modo que la economía funcione.

Todas las sociedades parten de unos requerimientos mínimos de flujos, necesarios para la subsistencia, que están situados alrededor de 12MJ de energía, 10kg de aire, entre 2 y 4kg o litros de agua y entre 2 y 3kg de biomasa por adulto medio y por día [Fischer-Kowalsky, Haberl, 1997]. Anualizados, estos valores representan entre 10 y 20 GJ de energía y aproximadamente 1tm de materiales por persona, aumentándose a partir de allí notablemente estas cantidades según sea el tipo de organización social -sociedades cazadoras y recolectoras, agrarias o industriales- al que pertenecen los individuos y llegando en la actualidad hasta 223GJ y 21,5tm.

El paso de la sociedad cazadora y recolectora a la agraria implicó multiplicar por cuatro la energía y los materiales demandados, mientras que el paso de la sociedad agraria a la industrial supuso hacerlo por cuatro o cinco, dándose entre ambos extremos de la civilización humana un aumento en la afectación de recursos de hasta 20 veces. No obstante, lo más significativo no ha sido el crecimiento espectacular del consumo sino la relación de la sociedad con la capacidad de carga ambiental del planeta. En efecto, mientras que las sociedades cazadoras y recolectoras debían adaptarse forzosamente a los recursos renovables de que podían disponer (ya que carecían de la potencia energética necesaria para acceder a los recursos minerales), inicialmente las sociedades agrarias, aunque sobretudo las

industriales, sobrepasaron largamente este límite, afectando los recursos no renovables y contaminando la biosfera con sus residuos.

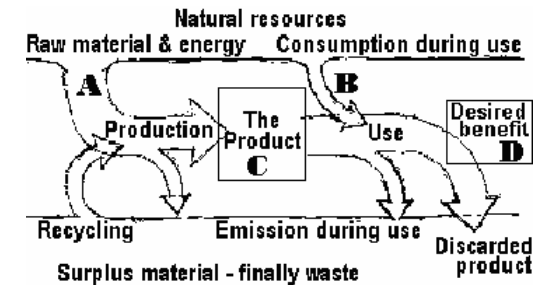
Hacia mediados de la década del 80 del siglo pasado, estaba claro que el metabolismo económico era una de las herramientas que permitía interpretar y analizar cuantitativamente la relación ambiental entre la economía y la naturaleza, a través de la cuantificación de sus flujos materiales (incluyendo en ellos naturalmente a la energía).

Casi sobre los años 90 los conceptos de metabolismo industrial y ecología industrial, que luego se diferenciarían, ya eran utilizados en forma común por diversos autores, por ejemplo R. Ayres en trabajos elaborados para la UNESCO desde 1989, para materializar ideas presentes en el debate científico de las décadas anteriores. El metabolismo industrial fue definido, a semejanza de lo que ocurre con los seres vivos cuando ingieren energía y alimentos para crecer y reproducirse, como un sistema integrado de procesos técnicos que convierte materias primas y energía, más trabajo, en productos acabados y en residuos. En él la producción industrial no se regula por sí misma, sino que en ello intervienen factores humanos directos como el trabajo e indirectos como el consumo, que es quien determina la demanda y por tanto el ritmo de fabricación. El sistema, en una economía descentralizada como la que impera en la mayor parte del mundo, es regulado por el balance entre provisión y demanda de productos y trabajo, a través del mecanismo de los precios que como se ha visto antes poco tiene que ver con la afectación que el sistema económico hace sobre el capital natural. El marco económico es, en esencia, el mecanismo de regulación del metabolismo industrial.

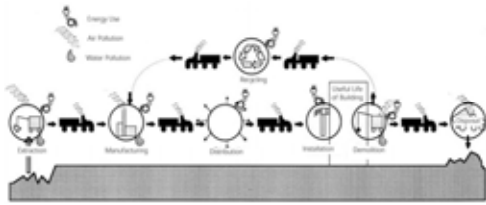
Por entonces otros autores como R. Frosch y N. Gallopoulos proponían el enfoque de la ecología industrial, comenzando a entenderse el funcionamiento de los sistemas industriales mediante su comparación con los ecosistemas naturales y señalándose a partir de allí la necesidad de modificar las pautas de organización de los primeros para aproximarlas a las de los segundos. Se definía entonces la idea de la complementariedad de las diferentes actividades económicas y la posibilidad de conversión de los residuos de una actividad en los recursos de otra.

En los sistemas biológicos las plantas sintetizan los nutrientes que alimentan a los herbívoros, que a su vez alimentan a los carnívoros, cuyos residuos y sus propios cuerpos en descomposición posibilitan el crecimiento de otra generación vegetal. Se trata de un ciclo en el que no hay residuos sino nutrientes y que es movido por la energía renovable solar fundamentalmente, aunque también participa en él la gravedad.

En los sistemas industriales convencionales no hay tal ciclo sino una secuencia lineal en la que los recursos que los alimentan son transformados, más tarde o más temprano, en



Esquemización de los flujos materiales del metabolismo industrial.
Consulta en línea, 10/2007 www2.uiah.fi/projects/metodi/138.htm



Esquema de la secuencia lineal (extracción>fabricación>residuos) de los flujos materiales en el metabolismo industrial. City of New York Department of Design and Construction, *High performance building guidelines*, 1999.

residuos no asimilables por ningún otro sistema. Lo que propone la ecología industrial es aprovechar las energías naturales para cerrar los ciclos de materiales, posibilitando que los residuos se conviertan otra vez en recursos y evitando el deterioro de la corteza terrestre por dispersión de desechos. Es evidente que para ello, además de contar con la tecnología adecuada, se hace necesario establecer un marco institucional y una conciencia social que favorezcan la producción renovable y el reciclaje frente a la extracción y el transporte horizontal a larga distancia de recursos y residuos, factores clave para favorecer procesos de gestión que cierren los ciclos de los materiales.

Una manera de establecer una analogía entre un metabolismo biológico y otro industrial es centrando la atención en el ciclo de vida de los materiales o los nutrientes. El ciclo hidrológico, el del carbón, o el del nitrógeno son ejemplos bien conocidos por los científicos. La mayor diferencia del metabolismo industrial con todos ellos es que mientras los primeros son cerrados, el segundo es abierto. El metabolismo industrial generalmente no recicla sus nutrientes y, partiendo de materias primas de alta calidad extraídas de la corteza terrestre (minerales, combustibles fósiles, etc.), las devuelve a la naturaleza en estado degradado, acelerando la velocidad del proceso entrópico.

El ciclo de materiales, generalmente, es visualizado como un sistema de compartimentos que contiene *stocks* de uno o más nutrientes enlazados a través de ciertos flujos. El sistema es cerrado cuando no necesita de un suministro externo, por ejemplo como ocurre con la tierra en su conjunto, una situación casi imposible en el entorno industrial. El sistema comienza a ser de ciclo cerrado cuando los *stocks* de cada componente son constantes o no varían significativamente. La condición del balance de materiales, indispensable en los sistemas cerrados, implica que los ingresos y egresos de cada compartimiento deben estar equilibrados [Ayres 1999].

El ciclo cerrado de materiales puede sostenerse indefinidamente si recibe un flujo continuo y externo de exergía, o energía efectivamente utilizada que como ha sido visto posteriormente se degrada y dispersa en el ambiente, y ello viene determinado directamente de la Segunda Ley de la termodinámica, que establece que la entropía global se incrementa en un proceso irreversible. La exergía, si puede ser conservada o bien provenir de una fuente renovable, sería usada constantemente en los procesos de transformación de los materiales involucrados en el sistema y en consecuencia el ciclo cerrado podría sostenerse tanto tiempo como dure su flujo, estableciéndose así el equilibrio.

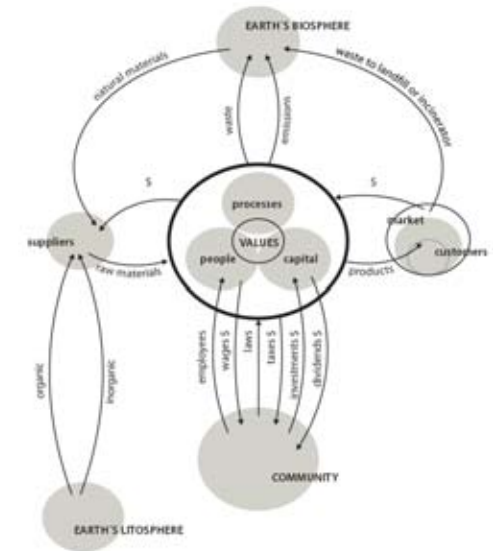
Un ciclo abierto, por el contrario, es inestable e insostenible. O se lo estabiliza, o colapsa contra el equilibrio térmico de cada uno de los flujos hasta que toda actividad física y biológica finalmente se detiene. El metabolismo industrial es, habitualmente, de ciclo abierto y como se

ha dicho puede sintetizarse como una secuencia sistemática entre extracción de materias primas y producción de residuos que, sin embargo, posee un hipotético número de ciclos intermedios sobre los cuales se puede operar para que el sistema sea cerrado.

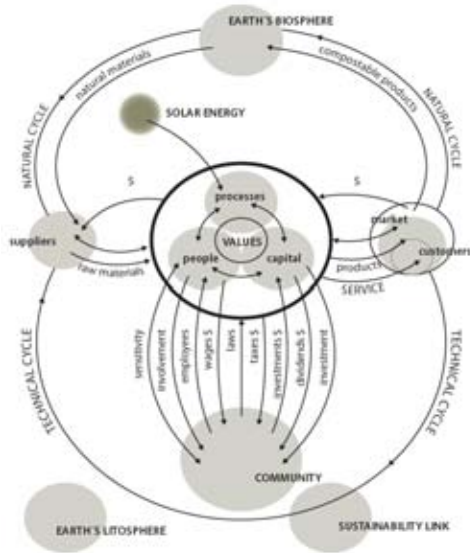
A partir del enfoque de la ecología industrial lo que hasta pocos años era visto como residuo puede comenzar a ser considerado como materia prima. Desde la década del 90 del siglo pasado, fundamentalmente, algunas empresas como por ejemplo la productora de moquetas Interface han comenzado a desarrollar nuevas tecnologías de materiales y procesos que permiten fabricar productos exclusivamente a partir de materias primas recicladas y reciclables. Todo ello, junto con sus programas de reducción de residuos, de utilización de energías renovables y de rediseño del comercio, está redefiniendo su modelo de producción industrial hacia el cierre del ciclo de los materiales.

El denominado modelo Interface puede sintetizarse en lo que R. Anderson, su Consejero ejecutivo, ha denominado como los siete frentes de cambio hacia la industria del siglo XXI que en forma sintética se presentan a continuación.

- 1- Cero residuos. Desaparece el concepto de residuos, todos los materiales pasan a ser entendidos como recursos o nutrientes útiles en algún proceso. Cuando los residuos se convierten en recursos se eliminan los vertidos sólidos contaminantes.
- 2- Emisiones no contaminantes. Los flujos de las chimeneas deben eliminarse porque aunque se capturen las emisiones tóxicas liberadas y las cenizas contaminantes el problema continúa debido a que se concentra la toxicidad. Se corta así un segundo enlace contaminante hacia la biosfera.
- 3- Energía renovable. Utilizar energía renovable detiene el bombeo de petróleo y otras fuentes fósiles y sus emisiones contaminantes asociadas. Otros links contaminantes con la biosfera y la litosfera dejan de existir, estableciéndose uno nuevo y sostenible, con origen en la energía solar y sus derivadas.
- 4- Cierre de los ciclos materiales: Se dejan de extraer materias primas de la corteza terrestre y esto quiere decir fabricar sólo a partir de materiales antes considerados como residuos. Se desactiva otro link insostenible con la litosfera y aparece otro sostenible, pero sin afectarla.
- 5- Transporte eficiente: El movimiento físico horizontal se reduce a su mínima expresión y además se hace más eficiente (por ejemplo, con vehículos equipados motores a pila de hidrógeno obtenida a partir de biomasa). Las emisiones de CO₂ generadas se neutralizan con nueva masa forestal de absorción.



Esquemización de la industria del SXX, según el modelo de la revolución industrial. Ciclos materiales abiertos.
Ray Anderson, Mid Course Correction. Towards a sustainable enterprise, The Peregrinilla Press, Atlanta, 1998.



Esquematación de la industria del SXXI según la respuesta a las demandas de la sostenibilidad. Ciclos materiales cerrados.
Ray Anderson, Mid Course Correction. Towards a sustainable enterprise, The Peregrinilla Press, Atalanta, 1998.

6- Implicación ambiental de todas las partes: Los cambios no pueden ser tan sólo puertas adentro de la industria, ya que se necesitan proveedores que aporten materias primas y servicios ambientalmente correctos, así como clientes que demanden productos y servicios con criterios de compra verde, para hacer económicamente posibles los nuevos links sostenibles.

7- Rediseño del comercio: La formación de precios (hasta ahora dominante) basada en los costes de extracción deja paso a otra, centrada en los costes de reposición, que implica hacerse cargo de la conversión de los residuos generados en nuevos recursos. El cambio de la venta al alquiler representa este concepto, ya que el precio que se paga por el servicio que prestan los productos incluye el coste de retorno a fábrica de los mismos, para su posterior procesado y reintroducción en la cadena de producción.

También el enfoque de la ecología industrial ha impulsado mecanismos o protocolos para el diseño y la verificación del cierre de ciclos en la fabricación de productos, tanto para la industria de la construcción como para otras, como el programa de certificación *Cradle to Cradle* que desarrolla McDonough Braungart Design Chemistry⁷. Se trata de un mecanismo de evaluación ambiental de la industria que analiza sus procesos desde la óptica del metabolismo biológico de naturaleza. Desde este punto de vista, evalúa los ciclos de los materiales que intervienen en la fabricación de un determinado producto desde que se produce la extracción de las materias primas hasta el final de su vida útil, caracterizándolos y valorándolos de acuerdo con sus niveles de toxicidad (o bien de inocuidad para la salud humana y de los ecosistemas) y de producción de residuos (o bien de reciclabilidad efectiva). Naturalmente, los productos que se presentan a esta certificación deben haber sido concebidos desde las exigencias del cierre del ciclo de los materiales y a partir de ello sus componentes tienen dos opciones de regeneración: pueden biodegradarse naturalmente, recargando a la tierra como nutrientes biológicos, o bien pueden reciclarse manteniendo la calidad y cantidad de materia original, recargando el sistema industrial como nutrientes técnicos.

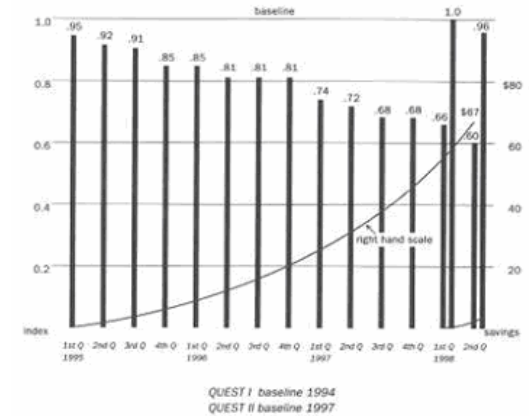
Redefinir los recursos materiales como nutrientes, biológicos o técnicos, permite a una compañía eliminar virtualmente el concepto del desecho, recuperándose valor económico en el proceso de fabricación, gracias a que no hay materia que se desperdicie. De esta manera también se reducen los costes, tanto de adquisición de materias primas como de gestión de residuos de compra. Se trata de una ventaja potencial que a mediano plazo comienza a aportar beneficios económicos a la empresa y ventajas ambientales a la naturaleza, como se puede observar en el caso de Interface a través de su programa de reducción de residuos

Quest, que en sólo tres años (1995-98) alcanzó una reducción de desechos de producción del orden del 40% con respecto a sus valores promedio en los años anteriores, representando ello un ahorro de 67 millones de dólares. Las materias primas extraídas de la corteza terrestre bajaron, con respecto a 1994, en un 60%.

Volviendo al programa de certificación *Cradle to Cradle*, los criterios que sigue para el análisis del cierre de los ciclos materiales pueden resumirse en cuatro grandes grupos: reutilización de materiales, evaluación del uso de la energía, evaluación del uso del agua, y responsabilidad social. En los criterios sobre los materiales importa la definición del ciclo apropiado -técnico o biológico- para el desarrollo del producto, así como el planteamiento de la estrategia de reutilización de los recursos en nuevo producto, que debe incluir los sistemas de logística y recuperación a emplear. En cuanto a la evaluación de la energía el acento se pone en los consumos y las fuentes involucradas en el proceso fabricación y gestión del producto, necesitándose la formulación de una estrategia de paulatina sustitución de los combustibles fósiles y nucleares por renovables. Por lo que hace a las políticas de agua, se busca la implantación de principios o pautas de gestión que reduzcan su consumo y que preserven la calidad en la que es retornada al ciclo hidrológico, caracterizando los flujos asociados con el producto. Por último, en el análisis de la responsabilidad social se impulsa la adopción de criterios de compromiso ambiental en las empresas involucradas, tanto a escala personal como corporativa, necesitándose la puesta en marcha de rutinas periódicas de evaluación y levantamiento de datos a cargo de terceras instituciones que permitan parametrizar la calidad de los flujos materiales. Tal información permite, por ejemplo, reunir la documentación necesaria para la declaración ambiental del producto involucrado (denominadas como etiquetas ecológicas de tipo III).

Otra forma de abordar el tema del cierre del ciclo de los materiales es mediante el cambio de escala de producción, a través de sistemas eco-industriales que consisten en un parque industrial o una región donde se capturan y se reciclan todos los materiales internamente, consumiendo fundamentalmente energía externa al sistema, es decir renovable, y produciendo servicios no materiales para su venta en el mercado (esto es posible alquilando bienes en lugar de vendiéndolos). Quizá el caso que más se aproxima a este concepto sea el de la ciudad danesa de Kalundborg donde, sintéticamente, el calor residual de una planta de energía y refinería de petróleo es usado para calentar invernaderos, y otros residuos industriales son convertidos en productos como fertilizantes o materiales de construcción.

Otro ejemplo, más relacionado con la construcción, es la fabricación de placas de revestimiento⁸ de pasta de celulosa y yeso producidas a partir de residuos de la industria papelera (celulosa obtenida de la recolección de residuos del cartón y del papel) y de la



Evolución del programa de reducción de residuos de producción QUEST, de Interface, mostrando el ahorro económico (millones de dólares estadounidenses).

Ray Anderson, *Mid Course Correction. Towards a sustainable enterprise*, The Peregrinilla Press, Atlanta, 1998.

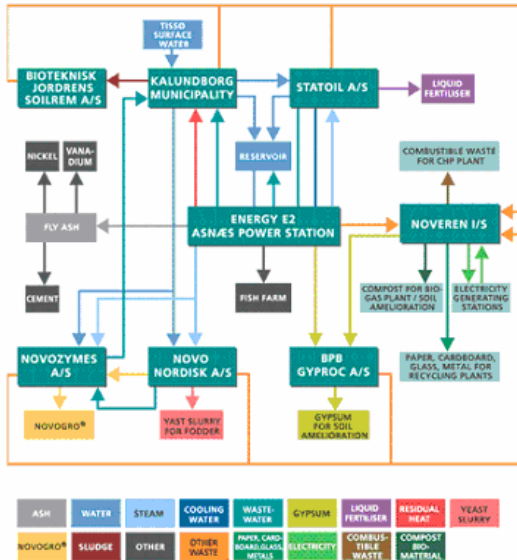


Diagrama de flujos de intercambios materiales entre distintas fábricas del parque industrial de Kalunborg, Dinamarca.
Consulta en línea 10/2007 <http://www.symbiosis.dk/>

industria eléctrica (yeso obtenido a partir de la captura de gases contaminantes en las chimeneas de humos de combustión fósil en las centrales de cogeneración). De encontrarse la manera de recoger y reciclar los residuos de la utilización de estas placas, se estaría frente a una aplicación completa de una estrategia de cierre de ciclos materiales.

Algunos autores [Ayres 1999] establecen cuatro condiciones básicas para que un sistema eco-industrial pueda funcionar y que resultan especialmente útiles en la definición de estrategias para cerrar el ciclo de los materiales, técnica y económicamente viables. Se reseñan a continuación.

Primero, una gran escala de operación que permita establecer los intercambios de flujos de materiales diversos contando, por ejemplo, con una empresa exportadora que asegure tal magnitud.

Segundo, la existencia local de una segunda gran empresa que pueda absorber los principales residuos de la primera, después de su conversión a un estado aprovechable.

Tercero, contar con otras industrias “satélites” especializadas y capaces de revalorizar el resto de los residuos de la primera como materias primas o bienes comercializables.

Cuarto y principal, debe establecerse un mecanismo que asegure una cooperación a largo término, en el ámbito técnico, entre las empresas participantes. Quien aporta esta condición normalmente es la empresa exportadora, una organización de empresas, o bien una agencia pública.

Naturalmente este enunciado teórico encuentra serias dificultades a la hora de ponerse en práctica. Su análisis requiere de una matriz muy compleja donde además de la complejidad de los flujos a analizar juega un papel muy importante la relación entre la producción de utilidades y la satisfacción de necesidades. Muy frecuentemente éstas no pueden equilibrarse porque el sistema en consideración –el parque industrial que puede intercambiar flujos materiales en ciclo cerrado- depende de un sistema mayor –la economía global- que como ha sido visto no funciona según las mismas leyes de organización y la coordinación enfrenta dificultades.

No obstante, los ejemplos reseñados hacen posible afirmar que desde el enfoque de la ecología industrial resulta muy difícil establecer *a priori* si un determinado material o producto es bueno o malo desde el punto de vista de la sostenibilidad, porque ello depende en gran medida de la gestión que se haga sobre los recursos implicados.

Ello puede verse claramente tomando como ejemplo al aluminio, un material con importantes prestaciones técnicas por su ligereza, maleabilidad y durabilidad, con innumerables aplicaciones en muchos sectores entre los que se encuentra la edificación, que es uno de los materiales más criticados desde el punto de vista ambiental. Su incidencia en la deforestación de las selvas tropicales para acceder a los depósitos de bauxita, el mineral comercial del que se obtiene, las grandes cantidades de energía eléctrica necesarias para producirlo⁹, una generación muy grande de residuos del proceso de depuración por unidad de metal fabricado (algunos de ellos altamente contaminantes como los llamados lodos electrolíticos que se producen en la formación del material), han hecho de él uno de los materiales más cuestionados.

No obstante y empleando las técnicas de la ecología industrial, cualquier pieza usada de aluminio puede fundirse y volver a utilizarse cuantas veces se desee sin pérdidas de calidad notables para la mayoría de los usos¹⁰. Aunque habitualmente las empresas no informan respecto a esta situación en sus productos, hasta en el mercado de la construcción existen materiales y componentes realizados con un aluminio 100% reciclado, que han necesitado apenas del 10% de la energía que hubiera intervenido en la producción del mismo metal si hubiera sido obtenido a partir de la extracción y el procesado de la bauxita, con una reducción similar en la generación de residuos. Todo ello sumado a su alta durabilidad, que permite hacer máxima la cantidad de utilidad obtenida para una determinada cantidad de metal, posibilita usar un capital de gran valor técnico (el stock de aluminio ya fabricado que se encuentra en nuestra sociedad) en ciclos cerrados, disminuyendo al mínimo los impactos ambientales en comparación con otros materiales alternativos para los mismos usos. Al igual que el aluminio (o las moquetas modulares ya comentadas en el caso Interface), gracias a la gestión basada en los principios de la ecología industrial muchos productos pueden encontrar la manera de cerrar sus ciclos materiales.

La reconversión de los residuos en nuevos recursos es una necesidad del sistema técnico para afrontar el reto de la sostenibilidad. Para hacerlo pueden usarse materiales renovables, gestionándolos a través de la biosfera, o utilizarse materiales no renovables, regenerándolos dentro del ciclo técnico. Lo que resulta clave, en todo caso, es que sobre ellos se disponga un tipo de gestión que sea capaz de cerrar los ciclos materiales.

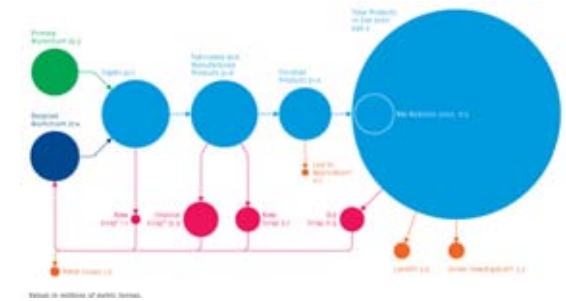


Diagrama de flujos de reciclado en la industria del aluminio. Más de la mitad del metal que cada año se incorpora al stock del sistema técnico proviene del ciclo de reciclado (representado por el color magenta).
EAA European Aluminium Association, EAA/OEA Recycling Division.

Citas bibliográficas:

- [Anderson 1999] Ray Anderson, Mid-Course Correction. Toward a Sustainable Enterprise, The Peregrinzilla Press, Atlanta, EEUU, ISBN 0964595354
- [Ayres 1999] R. U. Ayres & L. W. Ayres, Accounting for Resources: 2. The Life Cycle of Materials, Edward Elgar, Cheltenham, Reino Unido, 1999.
- [Benyus 2005] Janine Benyus, Biomimicry, Harper Perennial, reissued 2002, New York, EEUU, ISBN 0-06-053322-6
- [Carpintero 2005] Óscar Carpintero, El metabolismo de la economía española, Fundación César Manrique, Tegui, Lanzarote, España, 2005, ISBN 84-88550-60-X
- [Cuchi 2005] Albert Cuchí, Arquitectura y Sostenibilidad. Colección Temas de Tecnología y Sostenibilidad, CITIES, Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona, 2005, ISBN 848301839X
- [Fischer-Kowalsky, Haberl, 1997] M. Fischer-Kowalsky y H. Haberl, *Tons, Joules and Money: Modes of Production and the Sustainability Problems*, en: Society and Natural Resources, 10, 1997, pp.61-85
- [Gutiérrez, Naredo 2005] A. Gutiérrez, J. M. Naredo (coordinadores), La incidencia de la especie humana sobre la faz de la tierra, Fundación César Manrique y Editorial de la Universidad de Granada, España, 2005, ISBN 843383519X
- [IAU+S 2005] Iniciativa para una Arquitectura y un Urbanismo más Sostenibles, Agustín Hernández (edición y coordinación), La sostenibilidad en el proyecto arquitectónico y urbanístico, ETSA de Madrid, España, 2005
- [Latouche 2008] Serge Latouche, La apuesta por el decrecimiento, Icaria Editorial, 2008, ISBN 9788474269840
- [Martínez 2001] Joan Martínez Alier y Jordi Roca Jusment, Economía ecológica y política ambiental, Fondo de Cultura Económica, 2001, México, ISBN 9789681664121
- [Meadows et al 1972] D. Meadows, J. Randers, D. Meadows, W. Behrens, The limits to growth, Universe Books, EEUU 1972, ISBN 0876631650
- [Naredo et al. 1999] Naredo J.M y Valero A. (eds), Desarrollo económico y deterioro ecológico, Fundación Argentaria/Visor. Colección Economía y Naturaleza, Madrid, España, 1999 ISBN 84-7774-981-7
- [Ponting 1992] Clive Ponting, Historia verde del mundo, Editorial Paidós, Barcelona, España, ISBN 84 7509 840 1
- [Rees, Wackernagel 1996] M. Wackernagel y W. Rees. Nuestra huella ecológica: Reduciendo el impacto humano sobre la Tierra (edición original en inglés, de 1996). IEP/Lom Ediciones, Santiago, Chile, 2001
- [WCED 1987] World Commission On Environment and Development, Our Common Future, Oxford University Press, 1987, ISBN 019282080X

Notas:

¹ El título original del documento es Our Common future. The World Commission on Environment and Development, aunque se lo conoce también como Informe Brundtland debido a que fue la ex primer ministro de Noruega Gro Harlem Brundtland quien presidió la comisión durante su elaboración.

² Quien finalmente se hace cargo de los costes de la contaminación atmosférica y del cambio técnico hacia otros tipos de energías es el consumidor final a través de sobrepuestos, tasas, regalías, impuestos y derechos incorporados en el precio final de los bienes y servicios cuando éstos deben reformularse. Véase, por ejemplo, el valor de un coche de propulsión alternativa al combustible fósil con respecto a otro con motor de combustión y cómo los costes del cambio tecnológico recaen sobre el precio que pagará su usuario.

³ Este sería el caso del tipo de normativas que son de aplicación regular en la Unión Europea, donde se fija un límite en las emisiones de residuos gaseosos, líquidos o sólidos para la fabricación o instalación de muy diversos productos, como las pinturas y adhesivos, por ejemplo.

⁴ La información oficial, aportada por el Ministerio de Industria, turismo y comercio de España, sostiene que “La reducción de la intensidad energética es un objetivo prioritario para cualquier economía, siempre que su consecución no afecte negativamente al volumen de actividad. Uno de los parámetros que determinan la correlación entre consumo de energía y crecimiento económico es la evolución de la intensidad energética, indicador generalista que señala la relación entre consumos de energía y el Producto Interior Bruto”. Posteriormente, entre sus objetivos, agrega “Propiciar el crecimiento económico, de manera que el suministro de energía no sea en ningún caso un cuello de botella, es decir, una limitación, para seguir escalando posiciones en convergencia real con los países más prósperos”. <http://www.mityc.es/Desarrollo/Seccion/EficienciaEnergetica/Estrategia/> Consulta en línea, enero de 2009.

⁵ Pacto firmado por los gobiernos en la Conferencia de la ONU sobre Cambio Climático celebrada en la ciudad japonesa de Kioto en 1997, y también posteriormente, sobre el compromiso de reducir la cantidad de emisiones a la atmósfera de gases contaminantes de efecto invernadero (GEI): el dióxido de carbono, el metano, el óxido nitroso, el hidrofluorcarbono, el perfluorocarbono y el hexafluorocarbono de azufre. Entró en vigencia en febrero de 2005 y para España significa tener que situarse en 2012 en sólo un 15% más de las emisiones que tenía en 1990 (en 2008 se situaba en más de un 50% del nivel de 1990), compromiso por el que se puso en marcha el Plan Nacional de Asignación de Emisiones, que afecta a 957 instalaciones industriales. En el ámbito de la edificación se han puesto en marcha acciones de reducción de emisiones, impulsadas también por la transposición de la Directiva 2002/91/CE del Parlamento Europeo y del Consejo relativa a la eficiencia energética de los edificios. Ejemplo de ello son las exigencias de limitación de la demanda energética, la eficiencia de las instalaciones y la incorporación de energías renovables previstas en el Código Técnico de la Edificación, vigentes desde 2006, la obligatoriedad por parte de las nuevas construcciones de obtener una calificación de eficiencia energética prevista en el Real Decreto de Certificación Energética de Edificios, vigente desde 2007, y otras normativas autonómicas como por ejemplo el Decreto de Ecoeficiencia (Decret 21/2006, de 14 de febrer, pel qual es regula l'adopció de criteris ambientals i d'ecoeficiència en els edificis) de la Generalitat de Catalunya que han supuesto un incremento de las exigencias de aislamiento térmico, protección solar e incorporación de energías renovables en los edificios.

⁶ La ley de conservación de la masa o ley de conservación de la materia fue elaborada por Lavoisier y posteriormente por otros científicos. Establece que en toda reacción química la masa se conserva: la masa consumida de los reactivos en un sistema cerrado (sin intercambiar materiales con el exterior) es igual a la masa obtenida de los productos.

⁷ McDonough Braungart Design Chemistry es una empresa desarrollada por el arquitecto norteamericano William McDonough y el químico alemán Michael Braungart con sede en Charlottesville, Estados Unidos (www.mbdc.com).

⁸ Se trata del producto Fermacell de Xella International GmbH. Es una placa de cartón-yeso donde a diferencia de la de tipo laminado se produce una mezcla entre el mineral y las fibras de celulosa a la manera de un mortero microarmado.

⁹ El aluminio, con variaciones según la base de datos que se consulte, tiene un consumo energético de extracción y fabricación de entre 190 y 210 MJ por kilogramo, dos veces la del plástico y cinco la del acero, valor que lo sitúa a la cabeza de la lista de materiales de construcción en energía incorporada.

¹⁰ Según consultas realizadas a los técnicos de ALCASA, Aluminios Catalanes, S.A. (actualmente Befesa), empresa dedicada a la elaboración de aluminio reciclado para fundición.

