

# UNA REVISIÓN DE LOS PRINCIPIOS de la ecología industrial

Graciela Carrillo González

**L**a economía ecológica se caracteriza por ver a los sistemas natural y económico como un solo sistema conexo donde uno depende del otro, desde este enfoque es fundamental contabilizar los ciclos de la materia y los flujos de la energía, es decir, va más allá de lo estrictamente monetario. Por su parte, la ecología industrial es una propuesta cuya base teórica se desprende de la economía ecológica. Aparece explícitamente a finales de la década de 1980, y durante las últimas dos décadas surge una importante producción bibliográfica, resultado de trabajos académicos y empíricos. Los principales teóricos de la ecología industrial provienen de distintas áreas del conocimiento que van desde la ingenieril, la biológica y la económica, cada una de ellas marca algunas diferencias y sugiere formas de funcionamiento específicas de las empresas industriales para que operen de acuerdo con los principios de la naturaleza, se busca resaltar algunas diferencias en el énfasis que le dan los distintos autores a esta propuesta exclusivamente desde el plano teórico.

Palabras clave: ecología industrial, metabolismo industrial, desmaterialización.

## ABSTRACT

The economical ecology sees the natural and ecological systems as one, and they depend on each other, that's the reason why the monetary aspect isn't the only thing considered, but also the energy flows and the material's cycle. On the other side, industrial ecology is a strategy which theoretical basis starts on the ecologic economy. It clearly comes into view at the end of the eighties, and an important bibliographic production emerges during the last two decades, as a result of academic and empiric works. The most important industrial ecology theorists come from different areas of knowledge: engineering, biology and economy, each one of them emphasize some differences and suggest specific functioning ways of industrial organizations that work according to nature's principles, it seeks to highlight the importance that different authors give to this proposal in the theoretical aspect only.

Key words: industrial ecology, industrial metabolism, dematerialization.

\* Este artículo se realizó en el marco del proyecto Conacyt, núm. 61701, "Factores determinantes para la ecología industrial en un sistema complejo. Corredor industrial de Altamira-Tampico y el parque industrial Toluca, 2000".

## INTRODUCCIÓN

La economía ecológica insiste en la relación entre sistema natural y sistema económico como un sistema conexo donde ambos son interdependientes, contabiliza los ciclos de la materia y los flujos de la energía analizando las discrepancias entre tiempo económico y tiempo biogeoquímico, infiere que el ciclo económico se inicia con la definición y uso de materias primas y se prolonga hasta la generación y manejo de los residuos y desechos –retornos– que podrían reincorporarse en parte al ciclo económico (Martínez, 1996).

Esta propuesta pretende ofrecer un cambio radical al enfoque de la economía convencional que, como señala Naredo,

[...] afectaría al método, al instrumental e incluso al propio estatuto de la economía, al sacarla del universo aislado de los valores de cambio en el que hoy se desenvuelve para hacer de ella una disciplina obligadamente transdisciplinar, considera al sistema natural como parte del sistema económico por tanto, propone darle un tratamiento de carácter crematístico a los aspectos relacionados con el uso de los recursos naturales, pero no a los recursos.<sup>1</sup>

La ecología industrial es una propuesta cuya base teórica se desprende de la economía ecológica y busca conectar los principios y elementos de la economía con los de la biología. Surge de manera explícita hacia finales de la década de 1980, y durante los últimos diez años se da un impresionante auge en cuanto a producción bibliográfica, resultado de trabajos académicos y empíricos sobre el tema (los artículos de Robert Ayres de 1989, 1994, 1997; los de Graedel de 1996; de Allenby de 1992; y Erkman de 2001, entre otros).

En este trabajo se pretende hacer una revisión de los principales teóricos de la ecología industrial que desde distintas ópticas sugieren un modelo de producción que opere en concierto con la evolución de los sistemas naturales. Interesa resaltar algunas diferencias en el énfasis que le dan los distintos autores a esta propuesta, derivando en una clasificación de enfoques teóricos y en un cuestionamiento sobre los elementos que quedan ausentes en el análisis. Ello a la luz de los principios básicos de la economía ecológica que suponen una visión sistémica y de largo plazo que trasciende los preceptos de la economía convencional.

<sup>1</sup> J.M. Naredo (1992), “Fundamentos de la economía ecológica”, ponencia presentada en el Cuarto Congreso Nacional de Economía, Desarrollo y Medio Ambiente, Sevilla.

## UNA INTERPRETACIÓN DESDE LA ECONOMÍA ECOLÓGICA

Aunque algunos principios de economía ecológica se discutían ya en el siglo XIX con los artículos de Patrick Geddes, Frederick Soddy y S.A. Podolinsky, que referían sobre el uso de la energía y la consideración del sistema económico como un subsistema físico y biológico,<sup>2</sup> no es sino hasta las décadas de 1960 y 1970 que otros economistas como K. Boulding (1966), G. Roegen (1971), W. Kapp (1978), H. Daly (1972, 1980), P. Erlich (1970), y más tarde R. Noogard (1984) y R. Constanza (1999), recuperan y enriquecen la discusión haciendo planteamientos más consistentes que dan lugar al surgimiento de la nueva disciplina.

Estos autores comparten el mismo interés, aunque acercándose a la discusión con planteamientos diversos, dando lugar a la construcción de los elementos que conforman la economía ecológica, cuya visión se sustenta en la necesidad de reconocer la estrecha relación que existe entre los ecosistemas y el sistema económico, pero no bajo una relación de subordinación de la primera frente al segundo, sino orientados hacia la idea de la co-evolución que se rige por la equidad.<sup>3</sup>

Esta disciplina se reconoce como tal hace poco más de dos décadas, aunque algunos de sus planteamientos y principios ya se abordaban de manera aislada en trabajos y artículos especializados; sin embargo, actualmente se discute como algo casi convencional entre la comunidad científica de distintos campos, incorporando aspectos como la complejidad y las interacciones que se establecen entre el sistema económico y el sistema natural o bien se abordan como analogías para reforzar sus planteamientos (Korhonen, 2001; Holland, 2004; Erkman, 2001; Tibbs, 2000).

Desde la economía ecológica se asume que las leyes de la economía y las de la biología no son contradictorias pero sí llegan a ser incommensurables.<sup>4</sup> La visión sistémica que fundamenta los principios de la economía ecológica ofrece un cambio radical al enfoque

<sup>2</sup> Los artículos donde se recogen las aportaciones de estos autores a la economía ecológica, aun sin saberlo, son rescatados y analizados en el libro de Martínez Allier de 1995, en el cual este mismo autor les denomina a Podolinski, Geddes y Soddy como pioneros de la economía ecológica.

<sup>3</sup> El tema específico de la coevolución es abordado solamente por Noogard en un trabajo de 1984 y más tarde Kenneth Boulding en su artículo de 1966, posteriormente este concepto es recuperado por otros autores en trabajos que están referidos específicamente a los temas de medio ambiente.

<sup>4</sup> La consideración de la incommensurabilidad desde la economía ecológica se explica del reconocimiento de las múltiples funciones que realiza la naturaleza y del pluralismo de valores, que conducen a la idea de una sustentabilidad fuerte toda vez que dichas funciones, que cumple la naturaleza, no son sustituibles por capital hecho por el hombre y por lo tanto no se les puede atribuir un precio que sea referente en algún tipo de mercado.

de la economía convencional que “afecta al método, al instrumental e incluso al propio estatuto de la economía, al sacarla del universo aislado de los valores de cambio en el que hoy se desenvuelve para hacer de ella una transdisciplina”<sup>5</sup> que considera al sistema natural como parte del sistema económico proponiendo un tratamiento no crematístico a los recursos naturales, visión que intenta superar las diferencias de commensurabilidad.

## LA ECOLOGÍA INDUSTRIAL

El punto de partida para el estudio de problemas que trascienden el ámbito económico e impactan sobre una diversidad de elementos lo recupera la economía ecológica con la visión sistémica que incorpora en su análisis y a ello se suman otros principios fundamentales como el de la equidad. Aceptar y asumir el enfoque de la economía como un sistema abierto se conforma entonces como el principio básico para orientar nuestra acción hacia conductas armónicas con el medio natural y más equitativo en el plano social e intergeneracional.<sup>6</sup> El cuestionamiento severo que esta disciplina hace al modelo convencional de crecimiento y la intención de fomentar la idea de que somos parte de un sistema más equilibrado intenta un acercamiento hacia la sostenibilidad, con ciertas particularidades si de un sector específico se trata.

La ecología industrial constituye una vía que puede combinar los distintos planteamientos económicos, ya que en principio la lógica de producción de este sector representa la parte “dura” del modelo de acumulación predominante, pero por otro lado, también permite vislumbrar en el mediano y largo plazo, el diseño de esquemas de producción y consumo que evolucionen hacia la preservación de los recursos naturales y que reduzcan el impacto negativo sobre el medio ambiente; al mismo tiempo existen posibilidades de que se presenten ventajas de tipo económico para las empresas, lo cual les favorecería al enfrentar la competencia que impone un mundo globalizado.

El reto para el enfoque de la ecología industrial es precisamente llevar la dinámica de operación del sector industrial al principio de uso racional de los recursos naturales y respeto a la naturaleza. Asimismo, al considerar que la normativa ambiental internacional tiende a configurarse como un criterio más de competitividad en el comercio mundial,

<sup>5</sup> J.M. Naredo, “Fundamentos de la economía ecológica”, ponencia presentada en el Cuarto Congreso Nacional de Economía, Desarrollo y Medio Ambiente. Sevilla, 1992.

<sup>6</sup> Para Kapp, la degeneración del medio ambiente físico y social así como el agotamiento de importantes recursos no renovables han añadido el ejemplo de que los sistemas económicos están íntima y recíprocamente relacionados con los otros sistemas y en este sentido, son fundamentalmente sistemas abiertos.

el optar por alternativas de producción limpias abre el camino hacia una nueva forma de comercio que involucra no sólo a la producción sino también los patrones de consumo.

Desde esa lógica, la recuperación del concepto de ecología industrial encierra una contradicción, ya que “estamos acostumbrados a ver al sistema industrial y a las ciudades como algo ajeno al sistema natural, por lo tanto el integrar el sistema industrial al sistema natural es una perspectiva que se había mantenido fuera del campo de la investigación”.<sup>7</sup> Lo que establece una marcada distancia con los enfoques convencionales al mirar al sistema industrial como un ecosistema más que describe una particular distribución de flujos de materiales, energía e información provistos por la biosfera de la cual no puede separarse.

Este enfoque considera de igual importancia la tecnología, los procesos económicos, las interrelaciones de negocios, el financiamiento, las políticas de gobierno y los aspectos que involucran la administración de las empresas, se sustenta sobre tres elementos:

- Un enfoque sistémico que integra los componentes de la industria y de la biosfera.
- Un énfasis en la extracción biofísica para las actividades humanas y las complejas relaciones de los flujos materiales con el sistema industrial.
- Una consideración de la evolución de las dinámicas tecnológicas en el largo plazo como elemento de transición para pasar de un sistema industrial no sustentable hacia un ecosistema industrial.

En septiembre de 1989 aparece un número especial de la *Scientific American Review* con el título “Dirigiendo el planeta Tierra”; en ésta Frosh y Galopoulos que se desempeñaban en General Motors Company presentan un artículo titulado “Strategies for Manufacturing”. En ese trabajo plantean la idea de que es posible que los métodos de producción industrial se puedan desarrollar generando un impacto mucho menor sobre el medio ambiente.

El artículo desempeñó un papel clave, a partir de él se cristalizó una intuición latente en mucha gente asociada con la producción industrial. El impacto que generó en otros sectores involucraba el reconocimiento de la revista y el prestigio de los autores en diversos sectores gubernamentales y empresariales, representó la fuente para que se desarrollara y reconociera como tal la ecología industrial.

Hoy en día la ecología industrial ha ganado un espacio importante, en 1987 el MIT Press lanza el *Journal of Industrial Ecology* y en el 2001 se funda The International Society for Industrial Ecology. A partir de la segunda mitad de la década de 1990 el

<sup>7</sup> Erkman Suren (2002), *Perspectives on Industrial Ecology*, Greenleaf Publishing, Estados Unidos.

concepto se extiende desde el ámbito técnico y académico hasta numerosos círculos de negocios e incluso como una parte de la política ambiental en algunos países y existe una plena identificación de los principales autores que han desarrollado específica o colateralmente los principios de la ecología industrial desde distintas disciplinas, mismos que se incorporan en el siguiente cuadro.<sup>8</sup>

CUADRO 1  
*El concepto de ecología industrial desde distintas disciplinas*

Ecología	Ingeniería	Economía	Mercadotecnia
Eugene Odum	Robert Ayres	Georgescu-Roegen	
Charles Hall	R. Frosch y	Rene Passet	Hardi Tibbs
T.E.Graedel	N. Gallopolous	K. Boulding	
Preston Cloud	Braden Allenby		
	Jesse Ausbel		

FUENTE: G. Carrillo (2004:235).

Los ecólogos de la década de 1970 ya tenían presente la idea del sistema industrial como subsistema de la biosfera, aunque el concepto no era explícito, en su planteamiento se percibe una cierta analogía entre el funcionamiento del complejo urbano y la interacción que los organismos, procesos y recursos realizan, dentro de lo que E. Odum denomina “sistema vital”, para satisfacer sus necesidades físicas. Este tipo de relaciones se ponen

<sup>8</sup> Deliberadamente se dejan fuera de este cuadro a otros autores que se incorporan posteriormente al tema como E.A. Lowe, R.P. Coté, Cohen Rosenthal de la Universidad de Hull, a Deutz Pauline, David Gibas, Amy Proctor y a J. Korhonen, quienes trabajan y escriben sobre ecología industrial pero no en la idea de construcción del concepto y la estrategia, sino que tomando lo establecido realizan un análisis interpretativo bajo distintos enfoques como el impacto regional y local de la aplicación de la estrategia, los resultados sobre los parques ecoindustriales, enfatizan en el aspecto de flujos energéticos en las regiones desde una perspectiva geográfica; además de la gente de Austria que trabaja con Heinz Schand y la de Alemania, en el enfoque del análisis de la desmaterialización de la economía a partir de la construcción de matrices de flujo de materiales a nivel macroeconómico. Sin menoscabo de su importante papel como divulgador de la ecología industrial en Europa está Suren Erkman, al cual tampoco se incluye por ceñirme estrictamente a los autores que han trabajado en la construcción teórica; añado a la lista, como precursores de la ecología industrial, a los fundadores de la economía ecológica ya fallecidos, Kenneth Boulding, Nicholas Georgescu-Roegen, quienes insistieron que la economía debía verse como un sistema abierto a la entrada de energía y cerrado a la entrada de materiales y salida de residuos.

de manífero en los ecosistemas, donde están presentes: los productores (plantas verdes), los consumidores primarios, secundarios y terciarios (herbívoros, carnívoros y superpredadores), los organismos responsables de la descomposición (hongos y bacterias) llamados descomponedores, y el componente no viviente o abiótico, formado por materia orgánica muerta y nutrientes presentes en el suelo y el agua (transformadores).

Por el lado de la energía, los ecólogos han señalado que a partir de la ley de entropía, los organismos y ecosistemas sólo pueden mantener un estado altamente organizado y de baja entropía si tienen una entrada continua de energía de alta calidad, capacidad de almacenaje y un medio para disipar dicha entropía. De este modo, en un ambiente altamente competitivo, los sistemas que sobreviven son los que transforman eficientemente la mayor parte de energía en trabajo útil para sí mismos y para los sistemas circundantes con los que se liguen en relaciones de beneficio mutuo. Esta idea se recoge como propuesta para las empresas dentro de la estrategia de la ecología industrial.

En el siguiente cuadro se resumen los tres enfoques identificados, sobre los que se finca la construcción teórica de los pioneros de la ecología industrial marcando algunas diferencias de interpretación.

**CUADRO 2**  
*Enfoques teóricos en torno a la ecología industrial*

La ecología industrial como un proceso de desmaterialización de la economía.	Stephen Bunker (análisis crítico) Hardin Tibbs / Escuela de Austria, Lowe y Schmidt-Bleek
La ecología industrial vista desde el balance de materiales y de energía hasta su reintegración a los ciclos biogeoquímicos y de materiales.	Robert Ayres y Leslie Ayres Robert Ayres
La ecología industrial como una estrategia que genera interacciones dentro del sistema industrial en analogía con los sistemas naturales.	Robert Frosch-Nicholas Gallopolous T.E. Graedel, Braden Allenby y J. Ausbel

FUENTE: elaboración propia.

#### LA DESMATERIALIZACIÓN

Una de las interpretaciones gira en torno a la desmaterialización de la economía –utilización de menos *input* por unidad producida– ya que debido a incrementos en la eficiencia

y cambios en la demanda, el proceso de producción tiende a desvincularse del uso de ciertos materiales. Esta afirmación toma como unidad de medida el volumen de materias primas por unidad de Producto Interno Bruto (PIB), de modo que la disminución de este volumen constituye un proceso de desmaterialización que permitirá el crecimiento y reducirá el impacto sobre el ambiente.<sup>9</sup> Esta definición se califica como la versión “débil” de la desmaterialización y aluden a una versión “fuerte” que implicaría una disminución real del volumen de materiales utilizados en la actividad económica.

Hardin Tibbs es uno de los autores que argumenta sobre la desmaterialización; su trabajo de 1992 tuvo como base el análisis de diversas empresas e industrias que experimentaron una reducción general en el uso de materiales por unidad de producto y por lo tanto, en los niveles de contaminación, tales experiencias las extrapoló a la economía mundial para mostrar una intensidad decreciente en el uso de algunos materiales en los países industrializados.<sup>10</sup>

Para Erkman la desmaterialización se analiza en dos niveles: la relativa y la absoluta. La primera hace posible obtener más bienes y servicios de una cantidad de material, lo cual significa un incremento de la productividad. En cambio, la segunda plantea reducir el flujo de materia circulante en términos absolutos en los sistemas industriales, lo cual resulta mucho más difícil.

Recientemente se ha analizado el tema de la desmaterialización en el contexto de la “Nueva Economía” a partir de la idea de que a la luz de las nuevas tecnologías de la comunicación basadas en la internet se genera una importante contribución a la desmaterialización de la economía. Sin embargo, al parecer esto no ha resultado tan cierto, pues se ha generado un efecto de rebote sobre la energía porque el flujo de la información demanda grandes cantidades de ella.<sup>11</sup>

Frente a los estudiosos de la ecología industrial a nivel macroeconómico no hay tanto optimismo respecto a la facilidad de obtener soluciones *win-win*, debido a que desde esta perspectiva la hipótesis central de la ecología industrial que es la desmaterialización de la economía en términos absolutos, no se prueba, estudios realizados no han encontrado evidencia, y si en algunas economías el PIB crece más que los insumos materiales y la

<sup>9</sup> J. Martínez Allier y J. Roca Jusmet (2000), *Economía ecológica y política ambiental*, FCE/PNUMA, México.

<sup>10</sup> H. Tibbs (1992), *Industrial Ecology: An Environmental Agenda for Industry*. Arthur D. Little, Inc.

<sup>11</sup> Sobre esta discusión, en el artículo de Óscar Carpintero (2002) se desarrolla una serie de argumentos donde demuestra que el llamado efecto rebote ha limitado las posibilidades de una desmaterialización real, aun cuando las economías han tendido a la terciarización.

energía, eso se explica por el desplazamiento geográfico de los insumos y los productos. Lo que sí se ha probado es que en los países más ricos, se utiliza más energía y más materiales no bióticos.<sup>12</sup> El Wuppertal Institute en Alemania y el grupo de Ecología Social del Instituto de Investigación Interdisciplinaria en Austria se han especializado y están a la vanguardia en estudios de ecología industrial a nivel macroeconómico.

Con una visión, también crítica a este enfoque, S. Bunker expresa que la desmaterialización no es una nueva respuesta a los problemas ambientales, sino un medio históricamente habitual de reducir los costos de producción, y que sus efectos son los contrarios a los que afirman los promotores de la ecología industrial. Señala, apegándose a la versión “fuerte”, que lo ecológicamente significativo sería una reducción en el volumen absoluto de materias primas, no por unidad de producto, es decir una desmaterialización absoluta y no relativa, y a lo largo de la historia ha quedado demostrado que a pesar de la mayor eficiencia, el desarrollo de la tecnología y la sustitución de materiales, el volumen absoluto en el uso de materias primas no ha disminuido sino por el contrario.<sup>13</sup>

Si se considera la tendencia a la desconcentración del proceso productivo y la apertura económica, se percibe un incremento de los trasladados, y con ello del consumo de energía que fluye hacia los sistemas de transporte, dada la fuerte movilidad de factores y productos.

La desmaterialización y la descarbonización se enfocan al desarrollo de conceptos y estrategias para la optimización de los flujos de materiales en la economía, los cuales están ampliamente basados en la revolución tecnológica. Esto implica un incremento en la productividad de los recursos o la desmaterialización y una estrategia para fomentar la venta de servicios en lugar de la de productos.

La principal aproximación en el campo de la energía es la estrategia de descarbonización, con el objetivo de reducir la cantidad relativa de carbón en los combustibles, significando un cambio del carbón al petróleo, del petróleo al gas natural y, por último, del gas natural hacia la energía solar y el hidrógeno.

El libro de *Factor 4* es otra aproximación desde la perspectiva de *cerrando el ciclo*, plantea que en el corto plazo existen diferentes formas de elevar la productividad de los recursos materiales y de la energía, presentando varios ejemplos que muestran ese incremento.<sup>14</sup>

<sup>12</sup> Se definen también como abióticos y se trata de componentes no vivos, creados por el hombre y no por la naturaleza.

<sup>13</sup> Stephen Bunker (1996), “Materias primas y economía global: olvidos y distorsiones de la ecología industrial”, *Ecología Política*, núm. 12, Barcelona.

<sup>14</sup> E.U. Weizsäcker y A.B. y L.H. Lovins (1997), *Factor 4. Duplicar el bienestar con la mitad de los recursos naturales*, Galaxia Gutenberg y Círculo de lectores, Madrid.

Un año más tarde con una visión de largo plazo, Friedrich Schmidt-Bleek contribuye con el concepto Factor 10 donde señala que el flujo de mercancías podría reducirse hasta en 50% a partir de una red mundial basada en evitar el deterioro de la biosfera. Dado que se estimaba que el consumo per-cápita en los países de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) era cinco veces mayor que en los países en desarrollo. Y posteriormente, en una colaboración de 1998 en el *Journal of Industrial Ecology*, Lucas Reijnders trae al debate el concepto de Factor X dentro de una amplia discusión sobre la importancia del cambio tecnológico y la reducción de la intensidad de materiales en los procesos económicos, considerándose cualitativamente similar a la desmaterialización, ecoeficiencia e incremento en la productividad de los recursos naturales.

#### BALANCE DE MATERIALES

En la década de 1970 Robert Ayres da origen al concepto de “balance de materiales”, el cual es el antecedente de una interpretación de la ecología industrial que desarrolla más tarde el mismo autor con el concepto de “metabolismo industrial”. Desde este enfoque el objetivo central fue explicar cómo se da el flujo total de materiales y energía que atraviesa el sistema industrial desde su extracción hasta su inevitable reintegración a los ciclos biogeoquímicos de los elementos naturales.

La palabra metabolismo es utilizada originalmente dentro del contexto de la biología y hace referencia a los procesos internos de un organismo vivo; es decir, los procesos de ingestión de alimento para mantenerse y realizar sus funciones vitales de crecimiento y de reproducción, este proceso también genera la función de excreción o producción de desechos. A lo largo de todos los procesos que experimenta un organismo se da un consumo de materiales y de energía que pasa de baja a alta entropía.

Cuando se busca hacer una analogía sobre este proceso en los organismos biológicos hacia los sistemas industriales se encuentran varias similitudes pero también límites importantes. Uno de los puntos que se pretende abordar son los aspectos centrales del planteamiento de R. Ayres.<sup>15</sup> El autor señala que existe una analogía obligatoria entre organismos biológicos y actividades industriales no sólo porque ambos son sistemas que procesan materiales y manejan un flujo de energía libre sino, porque ambos son ejemplo de un “sistema disipativo” que se auto-organiza en un estado estable, lejos del equilibrio termodinámico.

<sup>15</sup> Robert Ayres (1989), *Industrial Metabolism in Technology and Environment*, J. Ausubel y Sladovich, Washington, National Academy Press.

La primera expresión que aludió a esa analogía fue la de “metabolismo industrial” Ayres señala que los organismos biológicos han evolucionado en tres grandes etapas –la fermentación; la respiración anaerobia y la fotosíntesis aerobia–, este proceso evolutivo condujo a la aparición de organismos capaces de realizar la fotosíntesis de forma más eficaz dando lugar al ciclo cerrado del carbono y del nitrógeno.

El metabolismo industrial hace referencia a los procesos físicos que transforman las materias primas y la energía, además del trabajo, en productos y residuos que se encuentran en una condición de estabilidad. Dado que la actividad industrial no se autoregula totalmente ya que depende de otras fuerzas presentes en el mercado, es el sistema económico en su conjunto el mecanismo metabólico.

Esta analogía es llevada también al plano de una empresa manufacturera individual, Robert Ayres señala algunas diferencias: así como un ecosistema es equilibrado, interdependiente, es una comunidad semiestable de organismos vivos que da lugar a interacciones como el parasitismo o la depredación; la empresa puede describirse como equilibrada, semiestable, con interacciones entre firmas que dan lugar a relaciones de cooperación y competencia para la identificación de sinergias.<sup>16</sup>

Sin embargo, los organismos biológicos se reproducen a sí mismos y las empresas producen bienes o servicios; en segundo lugar, los organismos son altamente especializados y los procesos de mutación corresponden a plazos evolutivos sumamente largos, en tanto que una firma puede cambiar de producto o de negocio en un tiempo corto; y, finalmente, el metabolismo que se da en un organismo solo podría asemejarse a los procesos del sistema económico donde participan diversos agentes, ya que la empresa sólo se considera una unidad de análisis promedio en el sistema económico.

El “ciclo de vida” de los nutrientes individuales, cualesquiera que sean, se compara con el ciclo hidrológico, donde los glaciares, los océanos, los lagos y el agua subterránea son las reservas, mientras que la lluvia y los ríos son los flujos, se trata de un elemento cuyo ciclo es cerrado dentro de un sistema estable que es la Tierra. Lo que caracteriza a los ciclos de los elementos naturales de la Tierra –biogeoquímicos– es que se trata de sistemas cerrados, no hay fuentes externas de materiales, hay reciclaje obligado de toda la materia y están presentes las reservas de nutrientes que mantienen flujos permanentes.

¿Qué sucede en los sistemas industriales? En primer lugar se trata de ciclos abiertos, generalmente no se reciclan los nutrientes, existe el reciclaje de residuos pero a una escala muy limitada, este sistema inicia sus procesos con materiales de muy alta calidad que extrae de la Tierra y posteriormente los regresa en forma degradada, no mantiene en forma idéntica y estable reservas de nutrientes y los recursos provienen de fuentes externas.

<sup>16</sup> *Idem.*

#### LA REINTEGRACIÓN DE MATERIALES A LOS CICLOS BIOGEOQUÍMICOS

En trabajos que escriben Robert Ayres y Anne Ayres durante y después de la década de 1990, llevan el análisis de la ecología industrial a la identificación de las diferencias entre la biosfera y la tecnósfera:

CUADRO 3  
*Diferencias biosfera-tecnósfera*

BIOSFERA	TECNÓSFERA
Existen productos primarios como fotosintetizadores.	Existen productos primarios
Existe biomasa que produce residuos y materia muerta.	Existen productos generados
No existe dinero, ni trabajo.	Existe dinero y trabajo
Existen intercambios involuntarios.	El intercambio es un proceso voluntario
Se da 100% de reciclaje de los materiales.	El reciclaje puede o no darse

FUENTE: elaboración propia, basado en R. Ayres, 2002.

Esta escala de análisis a nivel macroespacial da lugar a que se continúen identificando similitudes entre las funciones naturales con las industriales, señala que los organismos vivos ingieren y digieren alimentos, funciones que dan lugar a residuos metabólicos y además compiten con otros organismos por obtener esos alimentos; en el caso de las firmas, éstas consumen recursos por los cuales compiten entre sí, procesan esos recursos y generan tanto productos como residuos.

Mientras que en ecología el crecimiento es equivalente a la acumulación de energía que se transforma en azúcares, lípidos, celulosa y proteína; en la economía los insumos son recursos naturales, capital y trabajo, este último es considerado sólo factor de producción y nunca producto, la producción es una mezcla heterogénea de productos manufacturados y servicios.

Incorpora también el tema de la evolución, señalando que ésta se pone de manifiesto en la naturaleza a partir de la diferenciación, producto de mutaciones del genoma, y

por la selección darwiniana basada en sucesos reproductivos, en tanto que en la economía la diferenciación también responde a un proceso de cambio evolutivo que resulta de descubrimientos e innovaciones de los agentes económicos y la selección está basada en la competencia individual o de firma.<sup>17</sup>

Resalta en estos análisis que hace Robert Ayres, a diferencia de otros autores como Graedel o Allenby, su preocupación por destacar las diferencias de la analogía, llegando a señalar que intentar usar un concepto ecológico en un concepto económico es algunas veces injustificado y engañoso.

#### LA ANALOGÍA CON LOS SISTEMAS NATURALES

Tratar de reproducir la dinámica de los ciclos naturales dentro del sistema industrial ha concentrado el interés de varios teóricos; Jesse Ausubel, otro de los pioneros de la ecología industrial, la definió como “una red donde interactúan entre sí los procesos industriales viviendo uno a expensas de otro, no sólo en el sentido económico, sino también en el sentido del uso directo de residuos materiales y de energía”.<sup>18</sup> Una red que debiera ser, menos despilfarradora de procesos industriales, y más consecuente con la lógica del sistema natural.

El artículo de “Strategies for manufacturing”, de Frosch y Gallopolous de 1989, sentó las bases para asemejar el funcionamiento de la industria con un ecosistema natural:

En un ecosistema biológico, algunos de los organismos utilizan luz solar, agua y minerales para crecer, mientras otros consumen a los primeros, vivos o muertos, con minerales, gases y residuos que se producen de ellos mismos. Estos residuos son el alimento para otros organismos, algunos de los cuales pueden convertirse en residuos dentro de los minerales utilizados por los productores primarios, consumiéndose unos a otros en una compleja red de procesos donde todo lo producido es utilizado por algún organismo para su propio metabolismo. Similarmente en el ecosistema industrial, cada proceso y red de procesos puede ser visto como una parte dependiente e interrelacionada dentro de un todo. La analogía entre ecosistema industrial y ecosistema biológico no es perfecta,

<sup>17</sup> R. Ayres (2002), “On the life cycle metaphor: Where Ecology and economics diverge”. INSEAD. The Center of the Management of Environmental Resource. Working paper. 2002/119/EPS/CMER.

<sup>18</sup> Ausubel H. Jesse (1992), “Industrial Ecology: Reflections on a Colloquium”, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, núm. 89, febrero.

pero mucho podría ganarse si el sistema industrial imitara las mejores características de la analogía biológica.<sup>19</sup>

Esta idea es retomada por T.E. Gradel y B. Allenby, para realizar un análisis e interpretación más detenida sobre dicha analogía con los ecosistemas biológicos, y representa el referente más sólido para el estudio de las interacciones entre las empresas dentro del entorno de un parque o de una región industrial, donde se reproducen ciertas relaciones de cooperación –sociales– para el intercambio de los flujos de materiales y energía.

Los autores que se abocan a este enfoque recuperan la definición de ecosistema biológico como aquel que está conformado por componentes bióticos y abióticos que interactúan entre sí para cumplir funciones vitales de reproducción y equilibrio. Para ello, están abiertos a captar del ambiente externo energía y materiales y también, una vez efectuadas sus funciones, arrojan materiales procesados y energía.<sup>20</sup>

Los ecosistemas naturales contenidos dentro de la biosfera, se sustentan a partir de la entrada de energía solar, la cual una vez que ha penetrado y ha sido aprovechada por el sistema, fluye hacia afuera en forma de calor y otras formas procesadas de materia orgánica y contaminantes. La compleja transferencia de flujos de energía y materiales que realizan los componentes de los ecosistemas, se expresa en la red trófica. En ella, a diferencia de la energía que sólo puede utilizarse una sola vez para después disiparse en forma de calor, los elementos químicos se ocupan varias veces sin perder su utilidad, proceso al cual se denomina ciclo biogeoquímico de la materia.

La ecología industrial, desde esta perspectiva, hace la analogía al sistema biológico, plantea que en un sistema industrial puede darse un intercambio de recursos en forma cíclica y el modo en que se utiliza la materia y la energía en el sistema económico, se asemeja de gran manera a la utilización de la materia y de la energía por parte de los organismos biológicos y los ecosistemas.

El funcionamiento actual del sistema industrial, se basa en procesos de combustión ineficaces para transformar la energía fósil en materiales industriales, y genera considerables cantidades de CO<sub>2</sub> como producto residual, aunque en ciertos procesos como el transporte de energía, existe un símil con las funciones biológicas; otros procesos biológicos más complejos, como la digestión en los animales, no encuentran una analogía entre los procesos industriales, lo que lleva a Ayres, a afirmar que el sistema industrial actual

<sup>19</sup> R. Frosch y N. Gallopolous (1989), “Strategies for Manufacturing Scientific”, *Scientific American Review*.

<sup>20</sup> Odum, E. (1992), *Ecología. Bases científicas para un nuevo paradigma*, Vedrá, España.

es comparable con la fase más primitiva y desequilibrada de la evolución biológica, su sobrevivencia en el largo plazo exige cambios fundamentales.

La analogía entre ecología biológica y ecología industrial, lo aborda T. Graedel en un artículo publicado en 1996 en el *Annual Review Energy Environment*, donde presenta semejanzas entre las unidades de estudio: sea el organismo vivo para la ecología biológica, y la empresa o fábrica para la ecología industrial. Los aspectos que resaltan en tal comparación son: la independencia relativa de las unidades de estudio; la utilización de energía y materiales, así como la generación de residuos; la capacidad de producir y de responder a estímulos externos; la finitud de su ciclo de vida; y, la idea implícita en ellos de la conservación de la materia y la energía.<sup>21</sup>

El funcionamiento de los ciclos cerrados que prevalece en los ecosistemas, aún está ausente en el sistema industrial. Graedel establece un esquema de análisis donde ubica históricamente a la industria, señalando que ésta ha funcionado sobre la idea de disponibilidad de energía con recursos y residuos ilimitados.

La ecología industrial pretende modificaciones donde las interrelaciones de procesos y flujos evolucionen paulatinamente hacia ciclos que consideren la escasez de energía y recursos y, posteriormente, se incorpore el reciclaje de materiales operando en algo parecido a un esquema abierto sólo a la entrada de energía.

Las cadenas alimenticias en los ecosistemas biológicos incorporan el flujo de recursos y las interacciones dinámicas entre distintos ecosistemas. Muchas cadenas o redes alimenticias tienen un gran número de productores primarios, pocos consumidores y unos cuantos depredadores, pero también hay otras más complejas con niveles tróficos múltiples y alto nivel de depredación. El proceso análogo en la industria es la cadena alimenticia industrial, la cual se da a partir de la existencia de un sistema de transporte que permite mover los recursos desde donde se encuentran hasta donde se necesitan, en un circuito de instalaciones industriales que generan subproductos o energía residual; todo ello dentro de un área geográfica delimitada. El estudio de este tipo de redes provee de un potencial básico para analizar el flujo de recursos. No excluye dificultades cuando se quiere cuantificar.

## COMENTARIOS FINALES

Los trabajos y aportaciones teóricas que han surgido alrededor de los problemas ambientales son abundantes y han abordado líneas específicas tanto a nivel de explicación

<sup>21</sup> T.E. Graedel (1996), “On the concept of Industrial Ecology”, *Annual Review Energy Environmental*, núm. 21.

como de propuesta. Las aportaciones realizadas durante el siglo XIX, Patrick Geddes, Frederick Soddy y S.A. Podolinsky y su particular atención al tema de la energía, dieron bases firmes para construir la visión de la economía como sistema abierto y para abordar el estudio de los aspectos económicos desde un enfoque de sistemas.

La economía ecológica, a pesar de que sus herramientas de análisis no son ampliamente reconocidas, constituye un soporte fuerte para sustentar propuestas como la ecología industrial. La recuperación de la idea de complejidad en los sistemas naturales y su traslado a los sistemas industriales es un gran aporte al entendimiento y a las posibilidades de construcción de propuestas como ésta. Son varias las disciplinas que han aportado a la construcción de la ecología industrial, esta pluralidad ha favorecido el creciente interés por la disciplina, en menos de dos décadas, tanto en el plano académico como en el empresarial.

La hipótesis de la desmaterialización de la economía no ha sido probada, los estudios empíricos arrojan resultados en sentido inverso, muestran que en el plano de las posibilidades (factor X) en el largo plazo será viable producir más con menos en términos absolutos pero hasta ahora la desmaterialización sólo se ha logrado en casos específicos y a nivel relativo.

El balance de materiales y energía remite al concepto de metabolismo que aplicado a los sistemas industriales incorpora la idea de sistemas disipativos que se auto-organizan, como en el caso de los sistemas naturales. Sin embargo, al utilizar dicho concepto resaltan algunas limitaciones como la dificultad para lograr el equilibrio termodinámico.

El metabolismo también alude a los procesos evolutivos que explican los ciclos biogeoquímicos. La principal dificultad en este enfoque es que establece la comparación del sistema natural con el sistema económico en su conjunto, ya que considera a la empresa sólo como una unidad de análisis, lo que implica una dificultad al plantear una analogía en el plano macroeconómico. La comparación a una escala macroespacial da una visión más realista de las posibilidades pero al mismo tiempo dificulta llegar a resultados concretos por los tiempos naturales que prevalecen en los ciclos biogeoquímicos. Sin embargo, la idea de la recuperación de materiales para cerrar el círculo es una aportación interesante.

La escala de análisis en el enfoque de la analogía con los ciclos biológicos permite establecer mayores elementos de análisis al poder asemejar el fenómeno de la red trófica en los sistemas naturales con la retroalimentación en los sistemas industriales, toda vez que un agente natural se equipara a un agente económico –una compañía.

El desarrollo de análisis apegados a los planteamientos de la ecología industrial presenta algunas limitaciones, en el sentido de que se logra identificar los volúmenes y mecanismos técnicos que posibilitan el intercambio de los flujos de energía y/o materiales siempre y cuando se cumpla con algunas condiciones geográficas y tecnológicas. Sin embargo, no explica los factores internos que derivan del comportamiento de los agentes participantes

para que efectivamente se consoliden esas relaciones que garanticen un intercambio permanente, ni tampoco incorporan el papel que desempeñan las instituciones.

Un asunto a considerar es que hoy en día se incorpora en la discusión la idea del *win win*, es decir, que cuando una empresa adopta acciones para minimizar impactos o generar beneficios al ambiente que repercutan en externalidades positivas a terceros, también trae consigo beneficios económicos, para la misma firma, que se derivan de una mayor aceptación de ésta en el mercado, de una reducción en el costo de los materiales y/o de una ganancia extra en el precio de los productos que llevan a la venta.

## BIBLIOGRAFÍA

- Allenby, B.R. (1997), "Environmental Constraints and the Evolution of the Private", en Richard D. y Frosh, R., *The Industrial Green Game. Implications of environmental design and management*, National Academy of Engineering, Estados Unidos.
- (1992), "Achieving sustainable development through industrial ecology", *International Environmental Affairs*, 4, núm. 1.
- Ausbel, J. y Wernick, I. (1997), "Industrial Ecology: Some Directions for Research Pre Publication Draft. Office of Energy and Environmental Systems", Lawrence Livermore National Laboratory.
- Ausubel H. Jesse (1992), "Industrial Ecology: Reflections on a Colloquium", *Proceedings of the National Academy of Sciences*, núm. 89, febrero.
- Ayres R. y Ayres L. (1996), *Industrial ecology: Closing the materials cycle*. Cheltenham, Edward Elgar, Reino Unido/Lime.
- Ayres R. y Simonis U. (1994), *Industrial Metabolism: Restructuring for sustainable development*, United Nations University Press, Tokio.
- Ayres Robert (1989), *Industrial Metabolism in Technology and Environment*, J. Ausubel y Sladovich, National Academy Press, Washington.
- (1989), "Metabolismo industrial y cambio mundial", *Revista Internacional de Ciencias Sociales*, núm. 21, septiembre, UNESCO.
- (1993), "Industrial metabolism. Closing the materials cycle. The principles of clean production", en internet.
- (1997), "Opening Up Possibilities Around the World", fotocopia.
- (2000), "Resource scarcity, growth and the environment", INSEAD. The center of the management of environmental resource, working paper, 2000/31/EPS/CMER.
- (2002), "On the life cycle metaphor: Where Ecology and economics diverge", INSEAD, The Center of the Management of Environmental Resource, working paper, 2002/119/EPS/CMER.
- Ayres R. y Ayres L. (2002) *Kalundborg. In Handbook of Industrial Ecology*, eds. Cheltenham, Edward Elgar, Reino Unido.

- Boulding, K. (1966), The economics of the comming spaceship earth en daly, H.E., Toward a Steady-State Economy, W.H. Freeman, San Francisco, 1972.
- Bresso, Mercedes (1996), *Per un' Economía Ecológica*, La Nuova Italia Scientifica, Roma, septiembre.
- Bunker, Stephen (1996), "Materias primas y economía global: olvidos y distorsiones de la ecología industrial", *Revista Ecología Política*, núm. 12, Barcelona.
- Carpintero, Ó. (2003), "Los requerimientos totales de materiales en la economía española. Una visión a largo plazo: 1955-2000", *Revista Economía Industrial*, núm. 352, España.
- Carrillo G. (2001), "Economía ecológica y ecología industrial", en Morales J, y Rodríguez L. (comps.), *Economía para la protección ambiental. Ensayos teóricos y empíricos*, UAM-Azcapotzalco. México.
- (2004), "Ecología industrial y criterios de interacción", en Fernández y Saleme (comp.) *Dimensión social y humana del crecimiento económico*, UAM-Xochimilco. México.
- (2005), "Ecología industrial y sustentabilidad. El proyecto sinergia de subproductos en Altamira-Tampico", tesis de doctorado, Universidad de Barcelona.
- Constanza *et al.* (1999), *Una introducción a la economía ecológica*, CECSA, México.
- Ehrenfeld J. y Gertler N. (1997), "Industrial Ecology in Practice: The evolution of interdependence at Kalundborg", *Journal of Industrial Ecology*, 1 (1).
- Ehrenfeld, J.R. (1994), "Industrial Ecology: A Strategic Framework for Product Policy and other Sustainable Practices", The Second International Conference and Workshop on Product Oriented Policy, Stockholm.
- Erkman Suren (2002), *Perspectives on Industrial Ecology*, Greenleaf Publishing, Estados Unidos.
- (1997), "Industrial Ecology: A Historical View", ponencia presentada en la Primera Conferencia Internacional de Ecología Industrial, Barcelona, España.
- Ehrlich, P. y Ehrlich, A. (1970), "Population, resources, environment: issues in human ecology", San Francisco, W.H. Freeman & Company.
- Frosch, R.A. (1995), "Industrial Ecology. Adapting Technology for a Sustainable World", *Environment*, 37(10), pp. 17-37.
- Frosh R. y Gallopolous N. (1989), "Strategies for Manufacturing; Scientific in Scientific American Review", Estados Unidos.
- Fussler Claude (1999), *Eco-innovación. Integrando el medio ambiente en la empresa del futuro*, Mundi Prensa, España.
- Graedel T.E. (1996), "On the concept of Industrial Ecology", *Annual Review Energy Environmental*, núm. 21.
- Graedel, T.E. y Allenby, B.R. (1995), *Industrial Ecology*, Prentice Hall, Nueva Jersey.
- Kapp, W. (1978), "El carácter de sistema abierto de la economía y sus implicaciones", en Aguilera K. y Alcántara V. (comps.), *De la economía ambiental a la economía ecológica*, FUHEM/Icaria, Barcelona, 1994.
- Lowe, E.A. y Evans, L. (1995), "Industrial Ecology and Industrial Ecosystems", *Journal of Cleaner Production*, 3(1-2).

- Lowe, E.A., Moran, S.R., Holmes, D. B. (1997a), *Eco-Industrial Parks: A Guidebook for Local Development Teams*, Indigo Development, Oakland, California.
- Marina Fischer-Kowalski (2003), “On the History of Industrial Metabolism”, *Perspectives on Industrial Ecology*, edited by Dominique Bourg and Suren Erkman, Institute for the Communication and Analysis of Science, Switzerland, pp. 35-45.
- Martínez Allier (1995), *Los principios de la Economía Ecológica*, Textos de Podolinski, Geddes y Soddy, Fundación Argentaria y Visor Distribuidor, Madrid.
- (2003), “Ecología industrial y metabolismo socioeconómico: concepto y evolución histórica”, *Revista Economía Industrial*, núm. 352, España.
- Martínez Allier J. y Roca Jusmet J. (2000), *Economía ecológica y política ambiental*, FCE/PNUMA. México.
- Naredo, J.M. y Carpintero, Ó. (2003), “Ecología Industrial”, *Revista Economía Industrial*, núm. 352, España.
- (2001), “Economía y sostenibilidad: la economía ecológica en perspectiva”; *Polis Revista Académica*, Revista On-Line de la Universidad Bolivariana, vol. 1, núm. 1.
- (1992), “Fundamentos de la economía ecológica”, ponencia presentada en el Cuarto Congreso Nacional de Economía, Desarrollo y Medio Ambiente, Sevilla.
- Norgaard, R. (1984), “Coevolutionary Development Potential”, *Land economics*, vol. 60, núm. 2, mayo.
- Roegen, G. (1971), *The Entropy Law and the Economic Process*, Harvard University Press, Cambridge.
- Odum, E. (1992), *Ecología. Bases científicas para un nuevo paradigma*, Vedrá, España.
- (1977), “¿Qué puede enseñar a los economistas la termodinámica y la biología?”, en Aguilera K. y Alcántara V. (comps.), *De la economía ambiental a la economía ecológica*, FUHEM-Icaria, Barcelona, 1994.
- Socolow, R.H., Andrews, C., Berkhout, F. y Thomas, V. (1994), *Industrial Ecology and Global Change*, Cambridge University Press, Cambridge.