



La
ecología industrial
en México

Graciela Carrillo González
coordinadora

Colección **Teoría y Análisis**



Casa abierta al tiempo

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA
UNIDAD XOCHIMILCO División de Ciencias Sociales y Humanidades

LA ECOLOGÍA INDUSTRIAL EN MÉXICO

Esta publicación de la División de Ciencias Sociales y Humanidades de la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco, fue dictaminada por pares académicos externos especialistas en el tema.

Primera edición: 29 de noviembre de 2013

D.R. © Universidad Autónoma Metropolitana
UAM-Xochimilco
Calzada del Hueso 1100
Col. Villa Quietud, Coyoacán
C.P. 04960 México, DF.

ISBN: 978-607-28-0055-7

ISBN de la colección Teoría y análisis: 978-970-31-0929-6

Impreso y hecho en México / Printed and made in Mexico

La ecología industrial en México

Graciela Carrillo González
(coordinadora)



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA
UNIDAD XOCHIMILCO División de Ciencias Sociales y Humanidades





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA

Rector general, Salvador Vega y León

Secretario general, Norberto Manjarrez Álvarez

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA-XOCHIMILCO

Rectora de Unidad, Patricia E. Alfaro Moctezuma

Secretario de Unidad, Joaquín Jiménez Mercado

DIVISIÓN DE CIENCIAS SOCIALES Y HUMANIDADES

Director, Jorge Alsina Valdés y Capote

Secretario académico, Carlos Alfonso Hernández Gómez

Jefe de la sección de publicaciones, Miguel Ángel Hinojosa Carranza

CONSEJO EDITORIAL

José Luis Cepeda Dovala (presidente) / Ramón Alvarado Jiménez

Roberto M. Constantino Toto / Sofía de la Mora Campos

Arturo Gálvez Medrano / Fernando Sancén Contreras

COMITÉ EDITORIAL

Carlos Andrés Rodríguez Wallenius (presidente)

Aleida Azamar Alonso / Alejandro Cerda García

Arnulfo de Santiago Gómez / José Fernández García

Felipe Gálvez Cancino / Ignacio Gatica Lara

Araceli Mondragón González / Manuel Outón Lemus

Laura Patricia Peñalva Rosales / Alberto Isaac Pierdant Rodríguez

José Alberto Sánchez Martínez / Araceli Soní Soto

Diseño de portada: Irais Hernández Güereca

Asistencia editorial: Varinia Cortés Rodríguez

Índice

Prefacio	7
<i>Graciela Carrillo González</i>	
Prólogo	9
<i>Jordi Roca Jusmet</i>	
Introducción	13
<i>Graciela Carrillo González</i>	

PRIMERA PARTE

La ecología industrial. Teoría, concepto y herramientas

I. El debate teórico de la ecología industrial	19
<i>Graciela Carrillo González</i>	
II. El concepto de ecología industrial	47
<i>Gemma Cervantes Torre-Marín</i>	
III. Herramientas y métodos de la ecología industrial	69
<i>Gemma Cervantes Torre-Marín</i>	
IV. El análisis de ciclo de vida	93
<i>Mario Giraldi Díaz</i>	
V. Gestión ambiental para la ecología industrial	117
<i>Graciela Carrillo González</i>	

SEGUNDA PARTE
Experiencias de ecología industrial en México

VI. La base material de la economía mexicana: un análisis de los flujos de materiales	141
<i>Ana Citlalic González Martínez</i>	
VII. La implementación de la ecología industrial en el corredor industrial de Altamira-Tampico, Tamaulipas	175
<i>David Lule Chable</i>	
<i>Gemma Cervantes Torre-Marín</i>	
<i>Graciela Carrillo González</i>	
VIII. Ecología industrial y modelos de gestión ambiental en la industria petroquímica	203
<i>Alejandra Hayde Roldán Moreno</i>	
IX. Un modelo de gestión ambiental en la industria de alimentos	223
<i>Jorge Fernando Morales Téllez</i>	
X. Cooperación empresarial y ecología industrial: el reciclado de PET	257
<i>Raúl Arturo Alvarado López</i>	

TERCERA PARTE
La agenda de la ecología industrial en México

XI. Bolsa de subproductos: una estrategia de la ecología industrial	289
<i>Raúl Hernández Mar</i>	
<i>Santiago Fernández Gabriel</i>	
XII. La ecología industrial en México: logros, retos y perspectivas	313
<i>Gemma Cervantes Torre-Marín</i>	
<i>Dolores Elizabeth Turcott Cervantes</i>	
LOS AUTORES	331

Prefacio

Tuve la fortuna de descubrir el tema de la ecología industrial en el verano de 1997, mientras tomaba un curso sobre cuestiones de medio ambiente en la Universidad de Barcelona con el doctor Víctor Toledo; la inquietud que despertó en mí me llevó a que varios años después defendiera mi tesis doctoral denominada “Ecología industrial y sustentabilidad. El proyecto sinergia de subproductos en Altamira-Tampico”, la cual me asesoró el doctor Jordi Roca, a quien agradezco su asesoría y amistad.

En 2007 obtuve el apoyo del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt), dentro de la convocatoria de Ciencia Básica para iniciar un proyecto denominado “Factores determinantes de la ecología industrial en un sistema complejo: el corredor industrial de Altamira-Tampico y el parque industrial Toluca 2000”, con este proyecto pude profundizar en el tema, madurar sobre varios aspectos concretos y tópicos relacionados con la ecología industrial y sobre todo logré conformar un equipo de trabajo con becarios, estudiantes de la Maestría en Economía y Gestión de la Innovación, que se imparte en la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco, y con profesores y alumnos del grupo de ecología industrial de laUPIBI, escuela del Instituto Politécnico Nacional (IPN).

Durante los años de vigencia del proyecto también se conformó la Red Mexicana de Ecología Industrial (Remei), donde se sumaron a los integrantes de la UAM y del IPN profesores y alumnos de la Universidad de Querétaro, la Universidad de Guanajuato, la Universidad Tecnológica de León y algunos integrantes de pequeñas empresas de Guanajuato. El objetivo de la Remei ha sido difundir los principios de la ecología industrial en México y promover su aplicación; en ello se ha avanzado participando en congresos académicos y empresariales, se ha impartido un diplomado a empresas de Querétaro y se han puesto en marcha proyectos específicos con empresas.

La participación de este equipo de trabajo en el proyecto, así como las actividades de la Remei, no sólo nos permitieron aproximarnos al estado del arte en la teoría de la

ecología industrial sino también estudiar algunas de las experiencias que se tienen en el país. En particular tuvimos la oportunidad de estudiar y profundizar en la experiencia más importante de México, ubicada en el corredor industrial de Altamira-Tampico en Tamaulipas, donde nuestro trabajo no hubiera sido posible sin la colaboración y el apoyo de los ingenieros de las plantas visitadas.

Hoy los resultados de esta investigación se ven consolidados con esta obra donde participamos profesores y alumnos interesados en el estudio de la ecología industrial, pero ello no hubiera sido posible sin la colaboración y el apoyo que recibimos del contador Salvador Salazar, gerente de la Asociación de Industriales del Sur de Tamaulipas, y del ingeniero Julio Quevedo, quienes nos abrieron la puerta con las empresas; de mi buen amigo el ingeniero Joaquín Figueroa, quien me apoyó desde hace muchos años cuando elaboré mi tesis; de los ingenieros Daniel Velasco, Jesús Montalvo, Juan Eligio Delgado, Juan Alexandre y Mario Acosta, todos ellos nos dedicaron parte de su tiempo y compartieron con agrado y muy buena disposición su experiencia con nosotros, lo que nos ayudó a consolidar nuestro trabajo, a todos ellos expreso mi agradecimiento.

Finalmente, quiero señalar que el apoyo financiero recibido por el Conacyt fue fundamental para realizar esta investigación y reitero que este libro es resultado de un trabajo de equipo; a mis alumnos, ayudantes, becarios y a mi amiga Gemma, de quien he aprendido mucho sobre la ecología industrial, les reconozco y agradezco su esfuerzo, dedicación y compromiso con este trabajo. También le reconozco a mis hijos Edgardo Omar y Balam; y a mi esposo Edgardo, por la paciencia que han tenido durante tantos años en que he dedicado muchas horas al proyecto y que hoy se consolida con esta obra.

Sé que todos los autores que participamos en el libro hemos puesto nuestro mejor esfuerzo para compartir lo que hemos aprendido sobre la ecología industrial y para motivar a los lectores a que se interesen y exploren sobre esta apasionante temática.

Graciela Carrillo González

Prólogo

Conocí a Graciela Carrillo, coordinadora de este libro, a finales de la década de 1990 en la Universidad de Barcelona, donde impartí un curso de posgrado sobre economía ecológica. Graciela estaba interesada en el enfoque de la ecología industrial, tenía claro que quería realizar su tesis doctoral bajo esta orientación teórica y me pidió supervisar su tesis.

El tema era entonces mucho más novedoso que hoy –los trabajos aplicados existentes se centraban en casos de estudio y propuestas en los países más industrializados– y aplicar el enfoque para casos de México era todo un reto.

La doctora Carrillo ha consolidado una larga trayectoria de investigación dentro de la misma línea temática de su tesis, participando en proyectos de investigación, publicando trabajos y –lo que aún es más importante– formando un equipo de investigación con personas de diversas universidades y de carácter interdisciplinario, aspecto fundamental en este tema donde lo que interesa es el análisis de las interrelaciones entre la economía y la biósfera, sin evadir su complejidad. En definitiva, es satisfactorio ver que se publica este libro bajo el título *La ecología industrial en México* y al que contribuyen diez autores de diversas especialidades (economía, ingeniería, ecología, ciencias ambientales, química, políticas públicas).

La expresión ecología industrial se utiliza para analizar el sistema industrial desde el punto de vista de la circulación de materiales, energía e información y para evaluar las posibilidades de desarrollar nuevas estrategias ambientales para la empresa y plantear una nueva forma de interrelación entre las diferentes empresas en las que los residuos materiales de unas se conviertan en recursos para otras. La expresión podría parecer una contradicción en los términos, un *oximoron* ya que las economías industriales no reproducen el funcionamiento

habitual de los ecosistemas que analiza la ecología. Aunque en ambos se producen flujos de energía y de materiales, los contrastes entre los ecosistemas y las economías industriales son evidentes. Mientras los primeros se basan en el uso de la energía solar, las segundas utilizan cantidades ingentes de energías no renovables; mientras casi todos los ecosistemas naturales se basan en ciclos prácticamente cerrados de materiales, las economías industriales tienen un funcionamiento básicamente lineal, abierto: extraer materiales, utilizarlos y dispersarlos o confinarlos como residuos no reutilizables.

El término ecología industrial sirve precisamente para llamar la atención sobre el gran contraste entre las economías industriales y el funcionamiento de los ecosistemas y sobre la necesidad de orientar la innovación tecnológica y planificar la localización y las relaciones entre las empresas para minimizar el uso de recursos y cerrar al máximo los ciclos de materiales. Para una relación menos problemática entre las economías humanas y el medio ambiente no se trata tanto de mantener los “equilibrios ecológicos” como de buscar una “coevolución” de la economía humana y la naturaleza que no lleve al desastre ambiental sino que permita satisfacer las necesidades básicas de todos los seres humanos de forma duradera. Y ello tiene que ver con las tecnologías –el punto que concentra la atención de la ecología industrial– pero también con la distribución y los estilos de vida, con saber poner límites a las demandas de bienes materiales y de servicios energéticos.

La ecología industrial se centra muchas veces en procesos productivos concretos y parques industriales determinados o en materiales muy específicos pero conecta también con los análisis de flujos físicos –energéticos y materiales– de países y regiones, que miden la escala física de la economía. Es a partir de finales de la década de 1990 cuando proliferan trabajos en este sentido siguiendo la metodología del análisis del flujo de materiales. Las primeras cuantificaciones fueron para los países más ricos, como el trabajo *The Weight of the Nations* (2000), significativo e irónico título: el aumento de *The Wealth of Nations* no sólo se basó –como analizó Adam Smith en el siglo XVIII– en la división del trabajo, la difusión de conocimientos y la ampliación de los mercados, sino también en una ingente movilización de materiales y consecuente generación de residuos que hubiese sido impensable en economías basadas únicamente en energías y materiales renovables. A estos estudios siguieron muchos otros incluyendo un

buen número de trabajos sobre países latinoamericanos: en el caso de México la “base material” de su economía ha sido estudiada por Ana Citlalic González, quien contribuye con un capítulo a este libro.

En un sentido más amplio, la ecología industrial forma parte de la economía ecológica. Ésta también podría parecer una contradicción en los términos puesto que la economía convencional –¡aún dominante académicamente!– se ha centrado en los flujos mercantiles y en los indicadores monetarios macroeconómicos olvidando que los sistemas económico-sociales son, ante todo, subsistemas de la naturaleza que dependen de los flujos de recursos extraídos –¡que no producidos por los humanos!– de la naturaleza a la que expulsan residuos y que sólo pueden persistir en la medida en que las alteraciones que provocan en los ecosistemas no pongan en peligro la subsistencia. Pero la contradicción no está en estudiar la economía como parte de la naturaleza sino en la ceguera, el autismo de la ciencia económica actual. Una economía realista –y no de papel y lápiz, como solía decir el gran economista Nicholas Georgescu-Roegen– ha de atender a la dependencia de los procesos “productivos” y de “consumo” respecto al mundo físico en que se mueve. No puede olvidar las leyes de la termodinámica ni la complejidad de los ecosistemas. Como no lo olvida la ecología industrial... ni este libro.

Jordi Roca Jusmet

Catedrático de economía de la Universidad de Barcelona

Introducción

El proyecto “Factores determinantes para la ecología industrial (EI) en un sistema complejo” fue aprobado en el 2008 con el objetivo de identificar los factores de carácter técnico, económico, social e institucional que determinan las condiciones para que se logren establecer estrategias de innovación tecnológica y organizacional que conlleven hacia proyectos de ecoeficiencias y de sinergias tal como lo plantea la ecología industrial.

En el marco de este proyecto se estableció, como compromiso, generar diversos productos derivados de la investigación, entre los cuales se encuentra la edición de este libro colectivo sobre el tema “Ecología industrial en México”, con el propósito de analizar y narrar las experiencias sobre ecoeficiencias y sinergias que se han establecido en el país de manera explícita, o que han quedado implícitas en las estrategias de algunas empresas o regiones.

En México, las experiencias que se han desarrollado en ecología industrial son pocas y aún menos las que han sido documentadas, como es el caso de Altamira-Tampico; y algunos casos en el Estado de México. Sin embargo, esta área de conocimiento hoy en día puede ser una alternativa para que la industria contribuya a lograr una aproximación hacia la sustentabilidad, a partir de asemejar el funcionamiento de los sistemas industriales al de los sistemas naturales y con ello optimizar los ciclos de materiales, desde los insumos hasta el final de los procesos y los subproductos que de ello se derivan con el objetivo de cerrar el ciclo de materia y hacer eficientes los procesos internos.

El objetivo de este libro es abrir un espacio para la discusión teórica que ha dado lugar a la propuesta de la ecología industrial en el ámbito académico y de

las empresas, explicar las herramientas en las cuales se apoya y presentar estudios de caso sobre experiencias y aplicaciones de dichas herramientas en México.

El actual mundo globalizado y la fuerte competencia empresarial han provocado graves consecuencias económicas, sociales y ambientales con efectos adversos que ya sugieren repensar la forma en que se compete. De modo que actualmente el papel de las organizaciones en la economía internacional demanda una mayor eficiencia en la utilización de los recursos, aprovechamiento de oportunidades de negocios y de responsabilidad con la sociedad, este reto les exige moverse en un marco de cooperación interfirmas que dé lugar a la construcción de redes de conocimiento e intercambio de tecnologías, innovación en productos, estrategias y procesos que respondan a las nuevas exigencias de eficiencia, cuidado del medio ambiente y generación de empleos.

La necesidad de innovar permanentemente ya sea un proceso, un producto o un esquema organizativo se ha convertido en otra prioridad y recupera hoy en día la visión que tuvo Schumpeter cuando advertía que toda innovación va asociada al éxito en el mercado. Sin embargo, la velocidad a la que hoy se dan los cambios y flujos de conocimiento es tal que rebasa en mucho la acción individual de muchas organizaciones, bajo esta premisa se asume que toda innovación, especialmente la dirigida a la gestión ambiental, puede alcanzar resultados más favorables si se enmarca en acciones de cooperación interfirma y/o en la consolidación de redes institucionales que faciliten el uso de los recursos disponibles y las habilidades de las organizaciones involucradas.

La ecología industrial es una propuesta cuya base teórica se desprende de una disciplina ecléctica que conecta los principios y elementos de la economía con los de la biología. Este concepto fue concebido a la luz de las propuestas de la economía ecológica como un tipo específico de relación que se establece entre la actividad humana (industrial) y la dinámica del sistema natural. Bajo este enfoque, aspectos como el crecimiento de la población y el modelo de desarrollo predominante que rige la actividad económica, ocuparon un papel preponderante en el deterioro del medio ambiente.

El estudio del sector industrial, debido a su impacto sobre el medio ambiente, derivó en la propuesta de la ecología industrial y de ahí la simbiosis industrial, cuya construcción resulta de la visión de los ingenieros bajo el principio de la eficiencia en los procesos y de los ecólogos en cuanto a un sistema de funcionamiento más acorde con los ciclos de la naturaleza.

La interpretación que se hace de los sistemas industriales desde la ecología industrial y la conformación de las redes empresariales responde a las características internas que se dan en el espacio de convivencia, aprendizaje y desarrollo de capacidades dentro de los espacios comunes, así como la influencia del entorno económico e institucional en las decisiones de las organizaciones.

Por lo tanto, el objetivo de la ecología industrial es el de guiar a las firmas hacia la adopción de estrategias de producción económicamente rentables y ambientalmente sustentables. Aunado a este concepto, se incorpora la cooperación interfirma como mecanismo de coordinación, el cual propone formas organizacionales diferentes de las tradicionalmente jerárquicas para circular información y bienes físicos.

El libro *La ecología industrial en México* está integrado por tres apartados. En la primera parte, denominada “La ecología industrial”, se desarrolla el concepto y el debate acerca de la ecología industrial; asimismo, se presentan las estrategias, herramientas y métodos para la implementación de estos conceptos en los sistemas industriales y las características de la gestión ambiental de las empresas que fueron objeto de estudio de la investigación en el proyecto.

En la segunda parte, “Experiencias en México”, se mencionan y destacan las prácticas y los modelos de gestión en los sectores industriales en México. Asimismo, esta parte es complementada con las experiencias analizadas en las empresas del Corredor Industrial Altamira-Tampico, en cuanto a la implementación de la ecología industrial, la cooperación interfirmitas y los modelos de gestión ambiental vigentes en dichas empresas.

Por último, en la tercera parte, “La agenda de la ecología industrial en México”, se propone una serie de estrategias para la adopción e implementación de las herramientas de la ecología industrial, en la industria, a través de la creación del mercado de subproductos y la adopción de dicha herramienta en la retícula de las universidades. Como se ha mencionado, este libro es la suma de esfuerzos, recursos, experiencias y resultados logrados en el marco del proyecto de ciencia básica “Factores determinantes de la ecología industrial en un sistema complejo. El caso del Corredor Altamira-Tampico y del Parque Industrial Toluca 2000” financiado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt).

Graciela Carrillo González

PRIMERA PARTE

La ecología industrial. Teoría, concepto y herramientas

CAPÍTULO I

El debate teórico de la ecología industrial

Graciela Carrillo González

La sustentabilidad ambiental y el crecimiento económico son, hoy en día, una preocupación inseparable que exige mantener patrones de convivencia entre los agentes económicos y su entorno natural para propiciar acciones que conlleven hacia un proceso evolutivo que garantice la persistencia de ambos sistemas. La ecología industrial surge como una propuesta de funcionamiento que tanto desde la teoría como desde la *praxis* genera lógicas de carácter económico y social más acordes con la dinámica de los ecosistemas naturales.

En este capítulo se realiza una revisión de los principales autores que construyen la propuesta teórica de la ecología industrial (EI), misma que, en un inicio, desde la óptica ingenieril y biológica sugiere una forma de funcionamiento de las empresas industriales que sea compatible con la evolución de los sistemas naturales, idea que retoman posteriormente los economistas que se incorporan a esta línea de estudio, a la luz de la llamada economía ecológica. Se mostrarán las diferencias marcadas y sutiles que surgen de los distintos enfoques que dan los autores recuperando los principales elementos del debate.

Desde la economía, la ecología industrial queda bajo el paraguas teórico de la economía ecológica, la cual establece las grandes líneas que revelan el carácter ecléctico de una ciencia relativamente nueva, los primeros pasos de esta ciencia fueron no sólo buscar una reconciliación entre economía y sistemas naturales sino buscar una integración de los planteamientos teóricos de la biología y la economía y una visión compartida y abierta de los científicos de ambos campos de estudio para aprender sobre la teoría y la otra disciplina.

La economía ecológica ha insistido en la relación entre sistema natural y sistema económico como un sistema conexo e interdependiente, 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). Como señala J.M. Naredo (1992), “la economía ecológica al considerar al sistema natural como parte del sistema económico podría afectar el método, el instrumental y el estatuto de la economía convencional y transformarla en una disciplina transdisciplinar”.

Actualmente, la economía ecológica se discute como algo ya generalizado entre la comunidad científica de distintos campos, aunque no se le reconozca como tal se recuperan los principios que en ella se plantean, incorporando la complejidad del sistema natural y de las interacciones que se establecen por parte del sistema económico con éste (Korhonen, 2001; Holland, 2004; Erkman, 2001; Tibbs, 2001).

La ecología industrial en concordancia con la economía ecológica percibe al sistema industrial como una clase de ecosistema y puede describirse como una particular distribución de flujos de materiales, energía e información. Pero todo este sistema industrial se mantiene gracias a los recursos y servicios que provee la biósfera de la cual no puede separarse. La ecología industrial mira al sistema industrial como un todo, no se dirige sólo a la contaminación del ambiente sino que considera de igual importancia la tecnología, los procesos económicos, las interrelaciones de negocios, financiamiento, políticas de gobierno y los aspectos que involucran la administración de las empresas y el ámbito social. Esta disciplina se sustenta sobre tres elementos:

- Un enfoque sistémico (integra los componentes industria-biósfera).
- Énfasis en las relaciones de los flujos materiales con el sistema industrial.
- Evolución de las dinámicas tecnológicas en el largo plazo (de un sistema industrial insustentable hacia un ecosistema industrial).

El surgimiento de la ecología industrial

El concepto de ecología industrial se manifestó, intuitivamente, entre las décadas de 1950 y 1960 cuando los ecólogos alcanzaron a vislumbrar al sistema industrial como un subsistema de la biósfera, esta idea se fue gestando especialmente en el contexto de la creación del Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) a mediados de la década de 1970, en esa misma década desde la biología (ecología) H.T. Odum introduce la idea de los intercambios y la retroalimentación, propias del medio natural, para considerarla en los sistemas industriales “dicha [idea] estaría garantizada sólo en la medida en que se dieran un nivel de intercambio y retroalimentación adecuada” (Odum, 1971; Odum, 1992:56).

A principios de la década de 1980 Charles Hall, también ecologista, empieza a enseñar el concepto de ecosistemas industriales en la Universidad de Nueva York y publica algunos artículos en esta línea que lo llevan posteriormente a concentrarse en la construcción de modelos que analizan las interacciones de los ecosistemas naturales con la actividad económica (Hall, Cleveland y Kaufmann, 1986).

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

Este artículo tuvo un papel catalítico y permitió se cristalizara una intuición latente en mucha gente, especialmente en círculos asociados con la producción industrial. El impacto que este trabajo generó sobre varios sectores, involucraba el reconocimiento de la revista y el prestigio de los autores en diversos sectores de gobierno y empresariales. El artículo representó la fuente para que se desarrollara y conociera como tal la ecología industrial (Carrillo, 2009).

En 1987 el MIT Press lanza *Journal of Industrial Ecology*, y hacia la segunda mitad de la década de 1990 el concepto se extiende desde el ámbito técnico y académico hasta numerosos círculos de negocios, catorce años después (2001) se funda The International Society for Industrial Ecology; y en la primera década del siglo XXI empieza a instalarse como política pública en algunos países de Asia.

Los primeros autores que muestran coincidencias en sus propuestas con los principios de la ecología industrial y discuten el concepto, surgieron de distintas disciplinas (Cuadro 1).

CUADRO 1
Autores del concepto de ecología industrial

Ecología	Ingeniería	Economía
Eugene Odum	Robert Ayres	Georgescu Roegen
Charles Hall	R. Frosh y N. Gallopoulos	René Passet
T.E. Graedel	Braden Allenby	Keneth Boulding
Preston Cloud	Jesse Ausbel	Hardi Tibbs

Fuente: Carrillo (2004:235).

En los años siguientes se incorporan al tema autores como E.A. Lowe, R.P. Coté y Cohen Rosenthal; Deutz Pauline, de la Universidad de Hull; David Gibas, Amy Proctor y Korhonen J., quienes realizan análisis interpretativos sobre el impacto regional y local de los flujos energéticos al aplicar la ecología industrial en parques y zonas industriales; por otro lado, algunos investigadores de Austria trabajan con Heinz Schand y a la par se desarrolla la escuela de Alemania, donde abordan el tema de la ecología industrial, desde el enfoque de la desmaterialización de la economía, a partir de la construcción de matrices de flujo de materiales a nivel macroeconómico; Suren Erkman¹ también se vuelve un reconocido personaje como divulgador del enfoque de la ecología industrial en Europa.

En el 2004 se publica un número especial de la serie *Economic System Research*, donde Shigemi Kagawa y Sangwon Suh publicaron un trabajo denominado “Industrial ecology and input-output analysis”, posteriormente en el 2009, dentro de la colección *Efficiency in Industry and Science*, se publica el volumen 23 “Handbook of Input-output Economics in Industrial Ecology”, editado por el mismo Sangwon Suh, en el cual nuevamente ambos presentan un capítulo conjunto: “Industrial Ecology and Input-Output Economics: A Brief History”, donde resumen de manera espléndida el enfoque de la ecología industrial visto

¹ Suren Erkman ha presentado trabajos interesantes sobre el tema, en los que recoge los planteamientos teóricos de diversos autores (Erkman, 1997, 2001).

desde la perspectiva de la economía insumo-producto. En este último trabajo se señala que fue Barry Commoner, en la década de 1970, quien articula por primera vez la idea de cerrar círculos en el intercambio de materiales entre sociedad y ambiente para resolver problemas asociados con la entrada y salida de materiales y residuos en los procesos productivos.

Una aportación pionera bajo esta perspectiva de las matrices de entrada y salida fue la de Robert Ayres y Kneese (1969) y Kneese *et al.* (1970), quienes ampliaron el principio de balance de materiales a la estructura básica de insumo-producto, permitiendo un análisis cuantitativo del uso de recursos y el flujo de materiales en un sistema económico.

En la misma línea, en 1990 la doctora Faye Duchin, de la Universidad de Berkeley, publica un artículo donde se presentan las primeras contribuciones para establecer un vínculo explícito entre la economía insumo-producto y la ecología industrial.² Esta autora logra aclarar las relaciones cantidad-precio en un modelo de insumo-producto y dibuja sus implicaciones para la ecología industrial, lo cual antes sólo había sido referido a cantidades físicas.

Erkman señala también, en un trabajo de la década de 1990, que la idea de “ecología industrial” ya se había utilizado esporádicamente en algunos trabajos cortos que se divulgaron en el ámbito académico, como es el caso del artículo de Preston Cloud, presentado en la reunión anual de la Asociación Geológica Alemana en 1977, en el que incorporó el concepto de “ecosistema industrial” en una idea muy aproximada a lo que actualmente se entiende como “ecología industrial” (Erkman, 1997).

En cuanto al ámbito de la aplicación de este enfoque, dado que la dinámica del sector industrial fue el punto particular de atención de los estudiosos de la EI, los trabajos empezaron a derivar en propuestas concretas como la estrategia de la simbiosis industrial, una construcción desde la visión de eficiencia de procesos de los ingenieros, y el funcionamiento acorde a los ciclos de la naturaleza de los ecólogos. En esta orientación se propone rediseñar los actuales sistemas industriales, en la medida de lo posible, para hacerlos compatibles con la estructura y funcionamiento de los sistemas naturales e integrarlos en la dinámica de la

² Se ha señalado que el mismo Leontief incorporó, en el marco insumo-producto, algunas ideas que después fueron clave para la ecología industrial, al proponer un modelo donde la generación y el abatimiento de la contaminación son explícitamente tratados.

biósfera, como un ecosistema más. Autores como Graedel proponen, en su análisis teórico, el enfoque de la analogía entre los sistemas industriales y los ecosistemas naturales, de los cuales se identifican elementos similares,³ aun cuando el tema se ha abordado desde distintas perspectivas, el enfoque de la analogía sigue siendo predominante para el análisis de la industria vista en su conjunto.

Enfoques de la ecología industrial

Derivado de las distintas escuelas que abordan la construcción teórica de la ecología industrial es posible identificar al menos cuatro enfoques que enfatizan o toman como punto de partida una idea particular: la desmaterialización, el balance de materiales y energía, la analogía del sistema industrial con los sistemas naturales y la EI vista en el marco de la economía *input-output*, los autores representativos de cada uno de estos enfoques se observan en el Cuadro 2.

CUADRO 2
Enfoques teóricos en torno a la ecología industrial

Idea central	Autores
La ecología industrial, un proceso de desmaterialización de la economía.	Stephen Bunker, Hardin Tibbs /Escuela de Austria, Lowe y Schmidt-Bleek
La ecología industrial y el balance de materiales y energía (ciclos biogeoquímicos).	Robert Ayres y Leslie Ayres
La ecología industrial y la analogía con los sistemas naturales.	Robert Frosch-Nicholas Gallopoulos, T.E. Graedel, Braden Allenby y J. Ausbel
La ecología industrial y su análisis en el marco de la economía insumo-producto.	Faye Duchin, Shigemi Kagawa y Sangwon Suh

Fuente: adaptación (Carrillo, 2009).

³ El argumento central se basa en la consideración de que ambos sistemas se componen de una serie de organismos –naturales en un caso, empresas y consumidores en el otro– que se nutren de flujos de materia y energía para obtener productos o sustancias cuyo consumo satisface sus necesidades, con lo que se hace posible la sobrevivencia del sistema en su conjunto. Esto implica reconocer las interacciones del sector industrial con la biosfera y buscar los mecanismos que lo harían compatible con el funcionamiento de los ecosistemas naturales.

La desmaterialización

Una de las interpretaciones que se ha hecho sobre la ecología industrial, propone el proceso de desmaterialización de la economía –utilización de menos *input* por unidad producida– en el sentido de 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 nacional bruto (PNB), de modo que la disminución de este volumen constituye un proceso de desmaterialización que permitirá el crecimiento y reducirá el impacto sobre el ambiente; Martínez Alier y J. Roca califican esta definición 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 (Martínez Alier y Roca, 2000).

H. Tibbs es uno de los autores que argumenta sobre la desmaterialización; su trabajo 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 extrapola a la economía mundial para mostrar una intensidad decreciente en el uso de algunos materiales en los países industrializados. Los ejemplos que muestra Tibbs expresan una mayor obtención de riqueza con menores cantidades de materia prima por unidad de producto, en ciertos sectores (Tibbs, 1992).

Erkman explica que la desmaterialización se presenta en dos niveles: la relativa y la absoluta (Erkman, 2001). La desmaterialización relativa hace posible obtener más bienes y servicios de una cantidad de material, lo cual significa un incremento de la productividad. En cambio, la desmaterialización absoluta plantea la necesidad de reducir el flujo de materia circulante en términos absolutos en los sistemas industriales, lo cual resulta mucho más difícil.

En el contexto de la “Nueva Economía” la desmaterialización se estudia a la luz de las nuevas tecnologías de la comunicación que, basadas en la internet, contribuyen a reducir el consumo de materiales en la economía. Sin embargo, la evidencia ha mostrado un efecto de rebote sobre la energía porque el flujo de la información demanda grandes cantidades de ella.

Autores como Martínez Alier han señalado que entre los estudiosos de la ecología industrial a nivel macroeconómico no hay tanto optimismo respecto de

la facilidad de obtener soluciones *win-win*, debido a que bajo esta perspectiva la hipótesis central de la EI es la desmaterialización de la economía en términos absolutos. Los estudios realizados no han encontrado evidencia y si en algunas economías el PIB crece más que los insumos de materiales (y de energía) eso ha encontrado explicación en el desplazamiento geográfico de los insumos y los productos. Lo que sí se ha probado es que se usa más biomasa y más energéticos como resultado del crecimiento desmesurado de la población, el Wuppertal Institute en Alemania y el grupo de Ecología Social del Instituto de Investigación Interdisciplinaria en Austria (Weiz, 2001) se han especializado y están a la vanguardia en estudios de ecología industrial a nivel macroeconómico.

Una reflexión que se deriva de estos resultados es que, desde la revolución industrial, el objetivo de la economía ha sido maximizar la producción y quizá bajo el enfoque de la desmaterialización y de la ecología industrial se debe fortalecer la idea de evolucionar hacia una sociedad más orientada a los servicios.

Con una visión crítica, S. Bunker expresa que la desmaterialización no es una respuesta nueva 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 proponentes de la ecología industrial (Bunker, 1996). 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, (desmaterialización relativa), también señala que 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 materia primas no ha disminuido sino por el contrario. Tan sólo si se considera la tendencia que se desprende del nuevo paradigma productivo en cuanto a la desconcentración del proceso productivo y en general de la apertura económica, se percibe un notable incremento de los traslados y con ello del consumo de energía.

Al igual que la desmaterialización, la descarbonización también se enfoca al desarrollo de conceptos y estrategias para la optimización de los flujos de energía en la economía, los cuales están ampliamente basados en la revolución tecnológica. La principal aproximación en el campo de la energía es esta estrategia de descarbonización, cuyo objetivo es reducir la cantidad relativa de carbón en los combustibles, lo que significa un cambio del carbón al petróleo, del petróleo al gas natural y por último del gas natural hacia la energía solar y el hidrógeno u otras energías alternativas.

Allenby y Graedel publican en 1995 el primer libro de texto, dirigido hacia la aplicación de las herramientas de diseño para el ambiente y el análisis de ciclo de vida del producto, en él incluyen algunos aspectos sobre materia y energía y una descripción de los residuos derivados de procesos industriales. Tres años más tarde los mismos autores escriben un libro sobre ecología industrial y el automóvil donde presentan un método de evaluación sobre consumo de materiales y uso de energía en el proceso de producción de esta industria. Cerrando el ciclo es una perspectiva del proceso que promueve la transición de una visión lineal hacia una visión cíclica en el flujo de materiales y energía, esto facilita un incremento del reciclaje y el reuso de residuos industriales en lugar de la generación de flujos de residuos inservibles.

El Factor 4 de Amory y Hunter Lovins es otra aproximación bajo esta perspectiva, escrito en 1994 plantea que en el corto plazo existen diferentes formas de elevar la productividad de los recursos en las áreas de materiales y energía, presentan varios ejemplos que muestran ese incremento (Weizsäcker, Lovins y Lovins, 1994). Un año más tarde con una visión de más 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 biósfera.

Señala que el nivel de consumo per cápita en los países de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) es cinco veces mayor que en los países en desarrollo y frente al crecimiento de la población la reducción del flujo de materiales por unidad de servicio debe ser realizada en un periodo de 30 a 50 años con una combinación de técnicas, financiamiento y cambio en el estilo de vida. Schmidt Bleek lanza la iniciativa de conformar el club de ambientalistas del Factor 19 en la llamada Declaración de Carnoules, donde la base principal es la transición de una visión lineal a una cíclica en el flujo de materiales, elemento esencial en la desmaterialización del Factor 10 (Schmidt-Bleek, 1995).

Resultado de un estudio presentado por el Wuppertal Institute y Amigos de la Tierra en Alemania, Sachs y otros autores presentan en 1998 un texto donde ofrecen un nuevo paradigma que contribuiría a la reducción en el uso de los recursos. La ecología industrial se plantea como el elemento decisivo de transformación hacia una sociedad sustentable. Fundada en el desarrollo e implementación de ideas e iniciativas de gente ecológicamente consciente, en los próximos años Sach considera a la ecología industrial como un importante concepto en el marco de una

estructura conceptual para un proceso de transformación societal fundamental (Sachs *et al.*, 1998).

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. El autor propone no forzar demasiado las tecnologías hacia el Factor X, especialmente en los países no europeos, y propone al Factor X como una medida cuantitativa que da luz sobre la desmaterialización, a diferencia de los indicadores: requerimiento total de materiales (TMR) y unidad de materia prima por servicio (MIPS) que propone Daly y que considera inadecuados (Reijnders, 1998).

El Factor X es una perspectiva de la ecología industrial que puede ser caracterizada como una transformación total de la actividad industrial, más que un cambio limitado de las prácticas existentes, su objetivo es reducir el flujo de materiales per cápita especialmente en los países de la OCDE, por tanto es claramente un nuevo paradigma. La meta de la desmaterialización con el Factor X es promover la integración de las actividades industriales con el ecosistema natural. Sobre esto se han visto dos alternativas: leyes muy estrictas sobre eficiencia energética y la aplicación de impuestos para la internalización del costo ambiental (Weizsäcker *et al.*, 1997).

El concepto complementario de descarbonización o la disminución de masa de carbón utilizado por unidad de producción de energía a lo largo del tiempo ha sido más estudiado y ampliamente demostrado por los investigadores desde hace más de dos décadas, los resultados, a diferencia de la desmaterialización, han mostrado una reducción en el consumo de la energía que se explica básicamente por la sustitución de la fuente principal de energía en los diferentes momentos.

El balance de materiales y energía

Robert Ayres da origen en la década de 1970 al concepto de “balance de materiales”, el cual fue 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, en este apartado se explican los aspectos centrales del planteamiento de R. Ayres en este sentido, a partir de algunos de sus trabajos de la década de 1980 y de años recientes. 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 autoorganiza en un estado estable, lejos del equilibrio termodinámico (Ayres, 1988).

La primera expresión que hizo alusión a esa analogía fue la de “metabolismo industrial” utilizada por el mismo R. Ayres, quien señaló en su artículo de 1989 que los organismos biológicos han evolucionado a lo largo de tres grandes etapas –la fermentación, la respiración anaerobia, y la fotosíntesis aerobia– y este proceso evolutivo condujo a la aparición de organismos capaces de realizar la fotosíntesis de forma más eficaz; “las plantas verdes [...] y organismos que respiran oxígeno aún más eficientes y especializados: los animales. De modo que al interrelacionarse dieron lugar al ciclo cerrado del carbono y del nitrógeno” (Ayres, 1989:392).

De lo anterior se deriva que el metabolismo industrial hace referencia a los procesos físicos que transforman las materias primas y la energía, además del trabajo, en productos y residuos en una condición de estabilidad. Dado que la actividad industrial no se autorregula 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, la cual se autorregula y desarrolla funciones que garantizan su

sobrevivencia. Sin embargo, Ayres señala que existen algunos puntos a resaltar; así como un ecosistema es equilibrado e 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 o a la identificación de sinergias. Sin embargo, los organismos biológicos se reproducen a sí mismos y las empresas producen productos 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 sólo podría asemejarse a los procesos del sistema económico en su conjunto donde participan diversos agentes, ya que la empresa sólo se considera una unidad de análisis promedio en el sistema económico.

Otro punto de la analogía sobre el que pone mayor interés este autor es el “ciclo de vida” de los nutrientes individuales y lo ejemplifica muy claramente con el ciclo hidrológico, donde los glaciares, los océanos, los lagos y el agua subterránea son los *stock*, 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 los *stock* de diversos 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 *stocks* de nutrientes y los recursos provienen de fuentes externas.

El balance de materiales mantiene una situación totalmente equilibrada dentro de los sistemas cerrados porque en ellos los *stock* de nutrientes se encuentran en una especie de compartimentos que son constantes e inalterables, la condición que aquí prevalece es que los *input* de materiales de cada compartimento deben estar perfectamente equilibrados con los *output*:

[...] si esta condición no se encuentra para un gran compartimento entonces el *stock* en uno o más compartimentos debe incrementarse, mientras que el *stock* en uno o más de los otros compartimentos debe disminuir, si esto sucede los flujos pueden ser sostenidos indefinidamente por un flujo continuo de energía libre (Ayres, 1994:6).

En cuanto al flujo de la energía, la segunda ley de la termodinámica señala que hay un incremento irreversible de la entropía en cada proceso, es decir, se pasa de un estado de baja entropía a uno de alta entropía, por tanto un ciclo cerrado de materiales sólo se sostiene indefinidamente si existe una entrada externa y permanente de energía.

En los sistemas industriales la sola característica de sistema abierto los hace inestables e insustentables, por lo que están en la búsqueda permanentemente de un equilibrio energético que permita la estabilidad y evite el colapso para garantizar los flujos de energía y materiales en los distintos procesos. Esto es una diferencia sustancial entre un sistema biológico y uno industrial, de modo que mientras en el sistema biológico los procesos de los nutrientes desempeñan el papel central para cerrar el círculo, en los sistemas industriales que son sistemas abiertos los nutrientes son transformados en residuos con un nivel de reciclaje poco significativo.

Por tanto, Ayres argumenta que el sistema industrial tal como existe hoy es *ipso facto* insustentable (Ayres, 1994) y al hacer alusión al funcionamiento de los sistemas industriales actuales y el funcionamiento de las formas de vida transitorias antes de la fotosíntesis, señala que el sistema industrial actuaría en semejanza a una forma poco evolucionada, ya que aún no constituye un sistema cerrado como los ecosistemas biológicos, pero tiende a evolucionar hacia ello (Roca y Martínez Alier, 1998).

Algo que parecía no haberse resaltado hasta este momento en el trabajo de Ayres es el tema de la evolución, ya que en sus primeros planteamientos hace alusión principalmente a los aspectos de estabilidad y equilibrio en los sistemas tanto biológicos como industriales; sin embargo, cuando analiza las formas de vida, empezando por la del planeta, acude a la teoría de “Gaia” y señala que se dio un proceso evolutivo sumamente lento que fue generando no sólo nuevas formas de vida, sino también capacidades de autoorganización que se dieron en un desarrollo lento de la biósfera a lo largo de millones de años.

Llevar el análisis de los sistemas industriales a este plano, lo que destaca es una escala de tiempo drásticamente más corta, el dominio de la actividad humana sobre los procesos naturales en muchos aspectos, la tasa de movilización de los nutrientes por la actividad industrial humana es casi comparable con los flujos de los procesos naturales, de modo que han aparecido disturbios importantes derivados de dichas actividades antropogénicas que ponen en riesgo la estabilidad del sistema natural.

La reintegración de materiales a los ciclos biogeoquímicos es un trabajo posterior de Robert Ayres que lleva el análisis de la ecología industrial a la identificación de las diferencias entre la biósfera y la tecnósfera, que se resume en el Cuadro 3

CUADRO 3
Analogía entre biósfera y tecnósfera

Biósfera	Tecnósfera
Existen productores primarios (fotosintetizadores).	Existen productores 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.
Existe obligadamente un reciclaje del 100% de los materiales.	El reciclaje puede o no darse.

Fuente: elaboración propia con base en Ayres (2002).

Esta escala de análisis a nivel macro da lugar a que se continúe 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 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.

Finalmente incorpora de forma explícita 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 a nivel individual o de firma (Ayres, 2002).

A diferencia de otros autores como Graedel o Allenby, en el trabajo de Ayres resalta 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.

Años más tarde orienta su trabajo al análisis de los impactos humanos sobre los grandes ciclos biogeoquímicos de elementos como el carbono, el azufre, el fósforo, el nitrógeno, etcétera, para posteriormente elaborar un minucioso trabajo por sector y elemento específico –aluminio, zinc, cadmio, ácido sulfúrico, etcétera– que le permite identificar cada uno de estos recursos como factores de producción. Aunque mucho de este análisis lo fue disertando en trabajos previos, sus obras en coautoría con Leslie Ayres –“Accounting for Resource” e “Industrial Ecology: Closing the Materials Cycle”– profundizan en el estudio de los ciclos de los materiales buscando cuáles de ellos y en qué etapa son potencialmente reutilizables y útiles en el sentido de una aproximación hacia la sustentabilidad.

El análisis del ciclo de materiales está enfocado a describir sistemáticamente la secuencia de etapas que se presentan en el proceso, de distintos materiales, para fines de uso en las actividades industriales, considera desde la extracción hasta la disposición identificando lazos hipotéticos o reales que podrían permitir que se cerrara el ciclo del sistema. En este sentido, la interpretación que se da aquí a la ecología industrial se deriva de la necesidad de establecer una analogía pero no con una firma sino con un sistema económico industrial y de buscar la forma de conducirlo hacia un sistema cerrado que considere todos y cada uno de los procesos que involucra el uso de los materiales que son tomados de la naturaleza.

Después de analizar varios casos, una de sus conclusiones, por ejemplo, es que el sector de metales ferrosos es mucho más grande que el sector de metales no ferrosos en términos de productos finales generados. Sin embargo, la situación

se revierte cuando se considera la cantidad de energía consumida, la sobrecarga de residuos, las aguas residuales generadas y el aire contaminado. Con este tipo de resultados se espera la consideración de incrementar el reciclaje en este sector a fin de ir cerrando el ciclo.

El enfoque que dan Robert y Leslie Ayres al estudio de la ecología industrial pone de manifiesto su interés por no quedarse en una comparación limitada a nivel de unidad de producción –firma– y sustentan que la analogía es un método de análisis acertado siempre y cuando se haga en las dimensiones correctas evitando caer en planteamientos engañosos. La consideración de los ciclos biogeoquímicos y de los ciclos de materiales incorpora plenamente en la discusión a la biología evolutiva y a la teoría de la innovación en la economía y permite plantear con mayor rigor los elementos comparativos que se desprenden de la analogía para dar argumentos suficientes que conlleven a la toma de decisiones a nivel de los agentes públicos y privados para realizar una recuperación de los materiales y con ello cerrar el círculo, es decir, concretizar la ecología industrial.

La analogía con los sistemas naturales

Jesse Ausubel –otro de los pioneros de la ecología industrial, quien se ubica entre los estudiosos del tema que tratan de reproducir la dinámica de los ciclos naturales en un sistema industrial– define a la ecología industrial 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” (Ausubel, 1992:882), sugiere que la red de procesos industriales sea menos despilfarradora y más consecuente con la lógica del sistema natural.

Frosch y Gallopoulos, sientan las bases para el enfoque de la analogía de la industria con un ecosistema natural al publicar el artículo de “Strategies for manufacturing”, en el que explican:

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 perfecto, pero mucho podría ganarse si el sistema industrial imitara las mejores características de la analogía biológica (Frosch y Gallopoulos, 1989).

Esta idea es retomada por otros autores como T.E. Gradel y B. Allenby para realizar un análisis e interpretación más detenida sobre dicha analogía con los ecosistemas biológicos, y que 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 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 (Odum, 1992). Los ecosistemas naturales contenidos dentro de la biósfera 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. Los ciclos biogeoquímicos, como se señaló, funcionan como ciclos cerrados de materiales, abiertos sólo a la entrada y salida de energía, donde las descomposiciones biológicas de dichos materiales suministran a su vez otros materiales de reuso para otro nivel trófico.

La ecología industrial, desde esta perspectiva, hace la analogía al sistema biológico, planteando que en un sistema industrial puede darse un intercambio de recursos en forma cíclica. De hecho, la forma 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.

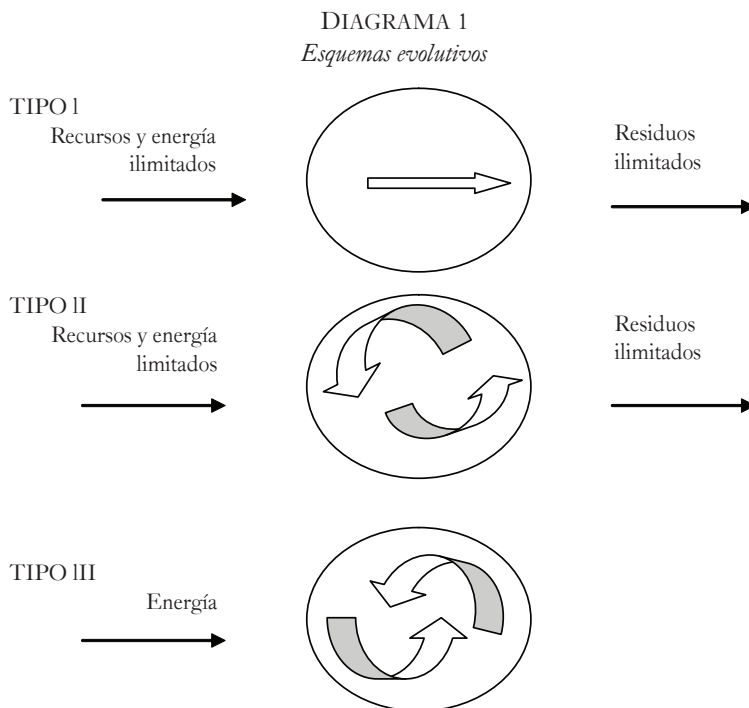
El funcionamiento actual del sistema industrial se basa en procesos de combustión ineficaces para transformar la energía fósil en materiales industriales, y genera considerables cantidades de dióxido de carbono como producto residual, aunque en procesos como el transporte de energía, existe un símil con las funciones biológicas; otros procesos biológicos más complejos, como la digestión en los animales, no encuentra una analogía entre los procesos industriales, lo que lleva a algunos autores como el mismo Ayres a afirmar que el sistema industrial actual es comparable a la fase más primitiva y desequilibrada de la evolución biológica, por lo que su sobrevivencia a largo plazo exige innovaciones fundamentales.

Este aspecto de la analogía entre ecología biológica y ecología industrial, lo aborda T. Graedel en un artículo publicado en 1996 en *Annuary Review Energy Environment*, donde presenta fundamentalmente las semejanzas entre las unidades de estudio en cada una de las ramas; 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.

Así como los organismos vivos se reproducen, la empresa, desde la ecología industrial, puede manufacturar otros productos no orgánicos, y tanto el organismo vivo como la planta industrial se involucran en la utilización de recursos energéticos y materiales antes y/o durante el proceso de crecimiento y manufacturación.

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 y recursos ilimitados y ha generado un volumen también ilimitado de residuos –esquema tipo I. La visión que propone la ecología industrial pretende que se modifique esta lógica y bajo el entendimiento de las interrelaciones de procesos y flujos, se evolucione paulatinamente hacia

ciclos que consideren en un primer momento la escasez de energía y recursos –esquema tipo II– y posteriormente se incorpore el reciclaje de materiales y opere de la manera más cercana posible a un esquema abierto sólo a la entrada de energía –esquema tipo III– (Diagrama 1).



Fuente: Graedel (1996).

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 permiten 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, aunque no excluye de dificultades cuando se trata de cuantificarlos.

La economía insumo-producto

La producción de nuevos trabajos de investigación económica sobre flujos de materiales y su relación con las tablas de insumo-producto crece de manera importante durante la década de 1990, generándose una serie de artículos en al menos cuatro líneas de investigación, según señalan Sangwon y Shigemi (2009):

1. Conceptualización de sistemas (Duchin, 1992, 2009).
2. Desarrollo metodológico (Konijn *et al.*, 1997; Nakamura y Kondo, 2002; Hoekstra, 2003; Suh, 2004c; Giljum y Hubacek, 2004; Dietzenbacher, 2005; Dietzenbacher *et al.*, 2009; Weisz y Duchin, 2005).
3. Compilación de datos (Kratte y Kratena, 1990; Kratena *et al.*, 1992; Pedersen, 1999; Ariyoshi y Moriguchi, 2003; Bringezu *et al.*, 2003; Stahmer *et al.*, 2003).
4. Aplicaciones (Duchin, 1990; Duchin y Lange, 1994; Duchin y Lange, 1998; Hubacek y Giljum, 2003; Kagawa *et al.*, 2004).

Un elemento común en todos estos enfoques apunta a que el estudio de la ecología industrial en el marco de la economía insumo-producto toma un fuerte énfasis en los datos del mundo real, los esfuerzos de investigación bajo este enfoque se dedican al desarrollo de conocimiento empírico relacionado con el flujo y acumulación de materiales en todo el mundo.

La importancia del papel que tiene la economía insumo-producto en el campo de la ecología industrial se presenta en el análisis que conecta diferentes disciplinas, a pesar de la simpleza operacional y conceptual, el marco *input-output* abarca relaciones de precio y cantidad, factores de producción y tecnología, distribución de ingresos, inversiones en trabajo y capital, intercambio

internacional, cambios estructurales. Este vasto alcance abre las posibilidades de integrar diferentes campos de la ciencia usando el marco de *entrada-salida* como un medio común.

Muchos problemas de investigación y operación que atiende la ecología industrial demandan la cooperación cercana de ingenieros y científicos naturales con economistas y otros científicos sociales. La economía insumo-producto provee de una plataforma para la ecología industrial donde los actores de diferentes disciplinas comparten puntos en común que utilizan para definir sus agendas de investigación.

Comparada con la ecología industrial, la economía insumo-producto es un campo científico maduro. Dada la superposición y las áreas de interés contiguo de ambas disciplinas, el conocimiento de los sistemas productivos acumulado a lo largo de la historia de la economía se convierte en una base de conocimiento para enfocar varios problemas en la ecología industrial (Stone *et al.*, 1963; Konijn, 1994; Kagawa y Suh 2009). Las diversas herramientas analíticas y modelos desarrollados por la economía insumo-producto abordan el análisis estructural, análisis del sector, análisis de descomposición estructural, y análisis de flujo mínimo, así como los modelos dinámicos de entrada-salida, modelos de decisión óptima de tecnología, y modelos de economía mundial, todo ello de gran relevancia conceptual y analítica para la ecología industrial.

Las recientes contribuciones de Faye Duchin y sus colegas sitúan los estudios basados en la economía de insumo-producto y la ecología industrial en un marco global.

El Modelo de Intercambio Mundial desarrollado por Duchin (2005) es un programa lineal que resuelve los flujos físicos y los precios asociados a los patrones físicos, tecnológicos y a las estructuras de costos asociados (Kagawa y Suh, 2009).

Un área donde el análisis insumo-producto es ampliamente utilizado en conjunción con la ecología industrial es el campo de la política de productos. El enfoque orientado al ciclo de vida se ha considerado como una innovación importante en las directivas de política ambiental europea.

Desde una perspectiva práctica, la tabla de entrada-salida provee información estadística valiosa para la ecología industrial, contiene de las pocas estadísticas públicas disponibles basadas en un método bien establecido de compilación que revela la estructura de una interdependencia entre industrias a nivel nacional, por tanto, es una fuente importante de datos (Kagawa y Suh, 2009:49).

Conclusiones

El campo de 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.

Ésta es un área de conocimiento relativamente nueva, sin embargo, en tres décadas ha logrado integrar una importante discusión, desde distintas disciplinas, con un enfoque común que es la integración de los sistemas industriales a la lógica de los sistemas naturales. La participación multidisciplinaria en la construcción de la ecología industrial ha favorecido el creciente interés 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 en términos relativos.

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 autoorganizan, como es 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 una unidad de análisis, lo que implica una dificultad al plantear una analogía en el plano macroeconómico. La comparación a una escala macro-espacial 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 e instituciones involucrados para que se consoliden esas relaciones que garanticen un intercambio permanente.

En cuanto al enfoque de estudio de la ecología industrial desde el marco del análisis insumo-producto, una de las grandes ventajas es que proporciona información estadística con un cierto grado de agregación, que permite y facilita cierto nivel de análisis y pese a que la producción se ha generado tanto con una orientación metodológica como aplicada, queda el reto de generar datos más específicos para soluciones concretas.

En la aplicación de herramientas de ecología industrial e incluso en experiencias concretas, Europa es la pionera con el caso paradigmático de Kalundborg, Dinamarca. Sin embargo, son los países asiáticos los que han optado en la última década por adoptar políticas públicas, en los ámbitos local y federal, enfocadas a la recuperación de materiales, tal es el caso de China con su política de economía circular.

Al análisis del marco teórico-analítico que presenta las distintas orientaciones de la ecología industrial constituye la base para la aplicación de casos y la búsqueda de experiencias similares en América Latina.

Bibliografía

- Allenby, B.R. (1997), “Environmental Constraints and the Evolution of the Private”,
Ayres, R. (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.
- Ariyoshi, N. y Moriguchi, Y. (2003), “The development of environmental accounting and indicators for measuring sustainability in Japan”, Paper presented at the OECD Accounting Frameworks to Measure Sustainable, París.
- Ayres, R. (2000), “Resource scarcity, growth and the environment”, INSEAD, The center of the management of environmental resource, Working paper, 2000/31/EPS/CMER.
- (1989), “Metabolismo industrial y cambio mundial”, *Revista Internacional de Ciencias Sociales*, núm. 21, septiembre, UNESCO.
- (1996), *Industrial Ecology. Towards Closing the Materials Cycle*, Edward Elgar (ed.). Reino Unido.
- (1993), *Industrial metabolism. Closing the materials cycle. The principles of clean production*.
- (1988), “Self Organization in Biology and Economics”, *International Journal on the Unity of the Sciences*, 1, núm. 3.
- y Ayres L. (1996), *Industrial ecology: Closing the materials cycle*, Cheltenham, Reino Unido/Lime, Edward Elgar.
- Ayres R. y Simonis U. (1994), *Industrial Metabolism: Restructuring for sustainable development*, Tokio, United Nations University Press.
- Bringezu *et al.* (2003), “Rationale for and interpretation of economy-wide materials flow analysis and derived indicators”, *Journal of Industrial Ecology*, 7(2), pp. 43-64.
- Bunker, Stephen (1996), “Materias primas y economía global: olvidos y distorsiones de la ecología industrial”, *Ecología Política*, núm. 12, Barcelona.
- Carrillo, G. (2004), “Ecología industrial y criterios de interacción”, en Fernández y Saleme (comp.), *Dimensión social y humana del crecimiento económico*, México, UAM-Xochimilco.
- (2001), “Economía ecológica y ecología industrial”, en Morales J. y Rodríguez L. (comps.), *Economía para la protección ambiental. Ensayos teóricos y empíricos*, México, UAM-Azcapotzalco.
- (2009), “Una revisión de los principios de la ecología industrial”, *Argumentos*, núm. 59, México, pp. 247-265.
- Chertow, Marian (2000), “Industrial Symbiosis: Literature and Taxonomy”, *Annual Review of Energy and Environment*, vol. 25.
- Dietzenbacher (2005), “Waste Treatment in physical input-output analysis”, *Economics*, 55(1).
- Dietzenbacher *et al.* (2009), “Physical input-output disposals to nature”, en S. Suh (ed.), *Handbook of input-output economics in industrial ecology*.

- Duchin, F. (1992), "Industrial input-output analysis: implications for industrial ecology", *Proceedings of the National Academy of Sciences*, núm. 89, pp. 851-855.
- (1990), "The conversion of biological materials and wastes to useful products", *Structural Change and Economic Dynamics*, 1(2), pp. 243-261.
- (2009), "Input-output Economics and Material Flows in Handbook of input-output economics in industrial ecology", *Ecoefficiency in industry and service*, vol. 23.
- Duchin, F. y Lange (1994), *The future of the environment: ecological economics and technological change*, Nueva York, Oxford University Press.
- (1998), "Prospects for the recycling of plastic in the United State", *Structural Change and Economic Dynamics*, núm. 9.
- 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.
- Ehrenfeld J. y Gertler N. (1997), "Industrial Ecology in Practice: The evolution of interdependence at Kalundborg", *Journal of Industrial Ecology*, 1(1).
- Erkman, S. (1997), "Industrial Ecology: A Historical View", *Journal of Cleaner Production*, 5(1-2), pp. 1-10.
- (2001), *Industrial Ecology: a new perspective on the future of the industrial system*, Ginebra, Assemblée annuelle de la Société Suisse de Pneumologie.
- Frosh R. y Gallopoulos N. (1989), "Strategies for Manufacturing", *Scientific American Review*, Estados Unidos.
- Giljum y Hubacek (2004), "Alternative approaches of physical input-output analysis to estimate primary material inputs of production and consumption activities", *Economic Systems Research*, 16.
- Graedel, T.E. (1994), "Industrial Ecology: Definitions and Implementation", en *Industrial Ecology and Global Change*, R.H. Socolow, C. Andrews.
- (1996), "On the concept of Industrial Ecology"; *Annual Review Energy Environmental*, núm. 21.
- y Allenby, B.R. (1995), *Industrial Ecology*, Nueva Jersey, Prentice Hall.
- Hubacek y Giljum (2003), "Applying physical input-output analysis to estimate land appropriation (ecological footprints) of international trade activities", *Ecological Economics*, núm. 44, pp. 137-151.
- Jelinski, L.W. et al. (1991), "Industrial ecology :concepts and approaches", ponencia en Coloquio "Industrial Ecology", 20 y 21 de mayo, Washington.
- Korhonen (2001), "Four ecosystem principles for an industrial ecosystem", *Journal of Cleaner Production*, vol. 9, pp. 253-259.
- Hall, Charles S., Cutler J. Cleveland y Robert Kaufmann (1986), "Energy and Resource Quality", *The Ecology of the Economic Process*, Nueva York, John Wiley & Sons.

- Hanon, B. (1973), "Structure of ecosystem", *Journal of Theoretical Biology*, núm. 41.
- Hoekstra, R. (2003), "Structural change of the physical economy-descomposition analysis of physical and hybrid input-output tables", Amsterdam, Free University.
- Holland (2004), *El orden oculto. De cómo la adaptación crea la complejidad*; México, Fondo de Cultura Económica.
- Kagawa, S., Inamura, H. y Moriguchi, Y. (2004), "A simple multi-regional input-output account for waste analysis", *Economic Systems Research*, núm. 16, pp. 1-20.
- Kagawa y Suh (2009), "Industrial Ecology and Input-Output Economics: A Brief History", Chapter 3, *Handbook of input-output economics in industrial ecology*, Dordrecht, Springer, pp. 43-58.
- Konijn, P., De Boer, S., y Van Dalen, J. (1997), "Input-output analysis of material flows with applications to iron, steel and zinc", *Structural Change and Economic Dynamics*, núm. 8, p. 129.
- Konijn, P. (1994). "The make and use of commodities by industries", University of Twente, Ph.D. thesis.
- Kratena, K., Chovanec, A. y Konechy, R. (1992), *Eine ökologische volkswirtschaftliche Gesamtrechnung für Österreich. Die Umwelt Input Output Tabelle 1983*, Wien: Institut fürsozial-, wirtschafts- und umweltpolitische Forschung.
- Kratler, A. y Kratena, K. (1990), *Reale Input-Output Tabelle und ökologischer Kreislauf*, Heidelberg, Physica-Verlag.
- López Ferrado (1997), "La ecología industrial imita a la naturaleza", *La Vanguardia*, abril.
- Martínez Alier y Roca (2000), *Economía ecológica y política ambiental*, México, Fondo de Cultura Económica/PNUMA.
- Martínez (1996), *Getting down to earth: Practical applications of ecological economics*, International Society for Ecological Economics, Island Press.
- Nakamura, S., y Kondo, Y. (2002), "Input-output analysis of waste management", *Journal of Industrial Ecology*, núm. 6, pp. 39-64.
- Naredo, J.M. (1992); "Fundamentos de la economía ecológica", ponencia presentada en el IV Congreso Nacional de Economía, Desarrollo y Medio Ambiente, Sevilla.
- Odum, H. (1971), *Environment, power and society*, Nueva York, Published by Wiley & Sons.
- (1992), *Ecología. Bases científicas para un nuevo paradigma*, España, Vedral.
- Pedersen, O.G. (1999), *Physical input-output tables for Denmark. Products and materials 1990, air emissions 1990-1992*, Copenhagen, Statistics Denmark.
- Reijnders, L. (1998), "The Factor X Debate: Setting Targets for Eco-Efficiency", *Journal of Industrial Ecology*, 2(1), p. 13-22.

- Roca y Martínez Alier (1998), “Apuntes de economía ecológica”, mimeo, Barcelona.
- Ausubel, H. Jesse (1992), “Industrial Ecology: Reflections on a Colloquium”, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, núm. 89.
- Sachs, W., R. Loske y M. Linz (1998), *Greening the North: A Post-Industrial Blueprint for Ecology and Equity*, Londres, Zed Books Ltd.
- Sangwon, S. y Shigemi, K. (2009), “Industrial ecology and input-output economics: A brief history”, *Handbook of input-output economics in industrial ecology*, Dordrecht, primavera, p. 43-58.
- Schmidt-Bleek (1995), “Factor 10. Make sparing use of natural product development”, *WIFI Brochure*, núm. 270, Viena.
- Stone R., Bacharach, M., y Bates, J. (1963), *Input-output relationships, 1951-1966, Programme for Growth*, vol. 3, Londres, Chapman & Hall.
- Suh, S. (2004), “A note on the calculus for physical input-output analysis and its application to land appropriation of international trade activities”, *Ecological Economics*, núm. 48, pp. 9-17.
- Suh, S. y Kagawa, Sh. (2009), “Industrial Ecology and Input-Output Economics: A Brief History”, *Handbook of input-output economics in industrial ecology*, Ecoefficiency in industry and service, vol. 23.
- Tibbs, Hardin (2001), “Cahier de propositions” of the Industrial Ecology Workshop (First draft for discussion, based on contributions by Suren Erkman, Colin Francis, Ramesh Ramaswamy), Ginebra, 27 de agosto de 2001.
- (1992), “Industrial Ecology: An Environmental Agenda for Industry”, *Whole Earth Review*, invierno, pp. 4-19.
- Weisz y Duchin (2005), “Physical and monetary input-output analysis: What makes the difference?”, *Ecological Economics*, núm. 57.
- Weiz, Helga (2001), “Material flow analysis and environmental indicators. The positioning of MFA in the European Discussion about environmental indicators”, Working paper series of the Federal ministry of Agriculture and Forestry, Environment and Water Management núm. 13, Vienna.
- Weizsäcker, E.U. y A.B. y L.H. Lovins (1997), *Factor 4. Duplicar el bienestar con la mitad de los recursos naturales*, Madrid, Galaxia Gutemberg y Círculo de lectores.
- Weizsäcker, Lovins y Lovins, (1994), *Factor Four: Doubling Wealth - Halving Resource Use*, Reino Unido.

CAPÍTULO II

El concepto de ecología industrial

Gemma Cervantes Torre-Marín

La ecología industrial (EI) es un área interdisciplinaria que intenta asimilar el funcionamiento de los ecosistemas industriales al de los naturales, con una interrelación entre industrias, el medio social y natural que tiende a cerrar el ciclo de materia y energía. El cierre de ciclo de materia se consigue en parte usando los residuos de una industria como materia prima de otras. La EI utiliza diferentes herramientas como análisis de ciclo de vida, indicadores de desarrollo sostenible, análisis de flujo de materia, etcétera. La EI promueve la innovación en sistemas industriales a través de un cambio de concepción, donde el límite no está en la propia empresa. En este trabajo, basado principalmente en las visitas y trabajo en ecosistemas industriales reales, se muestra una aproximación al concepto de EI, se describen algunos sistemas ecoindustriales en el mundo y se citan algunas de las herramientas y estrategias que utiliza la ecología industrial.

La ecología industrial y conceptos relacionados

El concepto de ecología industrial

La ecología industrial es un área interdisciplinaria que intenta asimilar el funcionamiento de los ecosistemas industriales al de los naturales, con una interrelación entre industrias, el medio social y natural que tiende a cerrar el ciclo de materia (Cervantes, 2007a) en una aproximación de los sistemas industriales hacia el desarrollo sostenible. Esta relación entre industrias tiene, como uno de sus

objetivos, tratar de cerrar el ciclo de materia y acercarse a un nivel cero de residuos. Esto lo consigue, en parte, usando los residuos de una industria como materia prima de otras, tal como se presenta en los ecosistemas naturales.

Esta concepción de la ecología industrial, que parte de la metáfora de los ecosistemas naturales, tiene límites, como ha sido señalado por diferentes autores (Bey, 2001; Spiegelman, 2003; Ehrenfeld, 2004; Jensen, 2011). Se destaca como límites la diferente naturaleza de los sistemas naturales y los económicos, el hecho de que los sistemas humanos funcionan lejos del equilibrio y que son sistemas abiertos. Pero al mismo tiempo se admite que esta comparación sería válida si se enfocaran los ecosistemas industriales como sistemas complejos y se profundizara más en la evolución de estos ecosistemas.

Otro de los objetivos de la relación entre industrias es la creación de sistemas de industrias interrelacionados, formando redes donde el intercambio no es sólo material. La ecología industrial crea redes socioeconómicas que se vinculan en relaciones de cooperación, cliente-proveedor, de investigación, de pertenencia a asociaciones, de colaboración en proyectos comunes, etcétera.

Otro objetivo de la EI es situar la actividad tecnológica como parte del ecosistema que la incluye, analizando la entrada de recursos y la salida de residuos, así como la manera en que la actividad humana afecta al ecosistema. Esta visión sistémica ha sido una de las grandes aportaciones de la ecología industrial (Erkman, 2001). También la ecología industrial desarrolla herramientas y estrategias para la creación de parques ecoindustriales. Por este motivo, la ecología industrial es una estrategia adecuada para la planificación de nuevos parques industriales y la reconversión de otros. Por tanto la EI promueve la creación de relaciones, en forma de redes, conectando al sistema industrial entre sí y a éste con la sociedad y el medio natural. Este es un aspecto muy importante de la EI y la clave para que ésta contribuya al desarrollo sostenible de los sistemas industriales (Cervantes *et al.*, 2009).

La EI, como el desarrollo sostenible, incluye aspectos ambientales, sociales y económicos pero es necesario redefinir el desarrollo sostenible y vincularlo más a la dinámica ecológica para ver claramente la relación entre ecología industrial y desarrollo sostenible (Ehrenfeld, 2004). Se puede ver la relación entre ambas áreas cuando se observa cómo la ecología industrial aplica muchos de los criterios del desarrollo sostenible, como el cierre del ciclo de materia, la desmaterialización, el fomento de la ecoeficiencia, la obtención de ganancias por

venta de residuos, el fomento del capital social local, el incremento y mejora de los puestos de trabajo, entre otros.

La EI comporta beneficios económicos, medioambientales y sociales tales como el ahorro de recursos, la minimización de residuos, la disminución de emisiones y cargas contaminantes, la disminución de costos ambientales, la mejora en puestos de trabajo, la creación de redes, la mejora de la imagen ambiental de las empresas, entidades y municipios y la mayor relación y colaboración dentro del sector industrial y de éste con el medio social y natural (Lowe *et al.*, 1997).

Existen muchas limitaciones en la aplicación de la ecología industrial a sistemas industriales. Una de las principales es la dificultad de crear las redes de interrelación entre industrias que permitirán el intercambio entre ellas. El sistema industrial está bajo la premisa de la competencia y resulta difícil que se cambie la mentalidad para comprender que la cooperación en algunos aspectos puede ser más favorable. Otra dificultad es cómo establecer relaciones dinámicas, ya que el sistema industrial es dinámico y debe estar en continuo cambio. Si dos empresas establecen un contrato para el intercambio de un residuo como materia prima, deben tener una visión más amplia y establecer los mecanismos para seguir cooperando cuando ya no interese el intercambio del citado residuo.

Hay tres elementos básicos en un sistema de EI (Cervantes, 2007b): que mire a la industria con visión global, sistémica e imitando el funcionamiento de los ecosistemas naturales; que se cree una red dinámica de entidades o empresas relacionadas con su entorno; y que se enfoque hacia el desarrollo sostenible e incluya aspectos sociales, económicos y ambientales.

Pero la EI es una disciplina que se va ampliando y redefiniendo desde su creación e incluye aspectos como la responsabilidad social corporativa, el consumo responsable, la producción, construcción y transporte sostenible, el metabolismo regional y urbano, la economía ambiental y ecológica, etcétera. La EI puede ser aplicada en la agricultura, en el turismo, en la gestión de la energía y en muchos otros campos (ISIE, 2011).

Experiencias relacionadas con la ecología industrial. La simbiosis industrial

La simbiosis industrial (SI) es un método que promueve el establecimiento de sinergias entre industrias de manera que se produce una interrelación beneficiosa

para las industrias involucradas. Estas sinergias suelen ser el uso de un residuo como materia prima de otra industria, pero también pueden ser la utilización o implantación conjunta de un servicio o infraestructura. También se llama simbiosis industrial al sistema de industrias interrelacionadas a través del método de simbiosis industrial. Así, el mismo término define el método y la realidad que éste origina.

La SI nació con un objetivo puramente económico. Aunque siempre se ha reconocido que conlleva buenas consecuencias ambientales, hasta el 2011 no admitió la comunidad internacional de SI que todo intercambio material en una simbiosis industrial va acompañado de una relación social. Por tanto, se acordó que la simbiosis industrial incluye aspectos ambientales, sociales y económicos (EIDP-IS, 2011).

La diferencia entre EI, como se definió previamente, tiene una visión más amplia y un triple objetivo: ambiental, social y económico. Por tanto, la simbiosis industrial es el método por excelencia usado por la EI y está incluido en ella. La EI engloba a la SI pero es más amplia que éste método.

Hay algunas experiencias en diferentes partes del mundo que equivalen a la simbiosis industrial, aunque no llevan este nombre: sinergia industrial, metabolismo industrial, red de intercambio de subproductos, red de reciclaje, sinergia de subproductos, red de emisiones cero. Todas éstas tienen en común que utilizan residuos de una industria o entidad como materia prima de otra industria o entidad. Muchas de estas experiencias iniciaron como una simbiosis industrial pero con el tiempo fueron ampliando sus objetivos y logros hasta convertirse en auténticos sistemas de ecología industrial.

Ecosistema industrial, parque ecoindustrial, redes de trabajo ecoindustrial

Cuando la EI se desarrolla en un grupo de empresas o parque industrial, éste se llama parque ecoindustrial (PEI). Las empresas de un PEI cooperan en un área determinada, con los objetivos de la EI y donde las empresas utilizan residuos de algunas de ellas como materia prima de otras. Un ecosistema industrial o red ecoindustrial define a una área más amplia donde se coopera con los objetivos de la EI y que puede extenderse a regiones, incluso a países (Erkman, 2003).

En cambio, el término *ecoparque* se suele utilizar para un grupo de empresas que promueve el cuidado del ambiente y el uso de tecnologías de producción más limpia, pero que no incluye la simbiosis industrial como método. También puede denominar a un grupo de empresas de reciclamiento que se instalan juntas en una zona pero que no intercambian entre ellas, sino que únicamente reciclan materiales que otras empresas les proporcionan. En estos dos casos no podemos hablar de un sistema de EI, ya que no incluyen la creación de una red de intercambio donde se utilicen los residuos de unas empresas como materia prima de otras.

Las redes de trabajo ecoindustrial se refieren a empresas y entidades que trabajan en red, aplicando los criterios de la ecología industrial, pero que no están necesariamente en el mismo espacio físico.

Orígenes de la ecología industrial

En la década de 1950 los ecologistas defendían las medidas a “final de tubo” (filtros, plantas de tratamiento de aguas residuales, etcétera) como una manera de reducir el impacto ambiental de la industria. Esto reflejaba la concepción de que era necesario separar a la industria del entorno. Estas medidas tienen muchos inconvenientes ya que el contaminante se transfiere de un medio a otro, no se elimina; no originan cambio que produzcan mejoras ambientales; tienen costo, no promueven el ahorro de recursos y se dirigen a empresas en forma individual (Pastor, 1996).

Posteriormente apareció el concepto de *producción más limpia* (UNEP/IE, 2011). Este concepto supuso un fuerte avance, ya que implica la modificación de los procesos productivos para producir menos residuos o que éstos sean menos contaminantes. Pero sigue siendo un enfoque aplicado a empresas de forma individual.

La EI da un paso que supone un cambio de concepción: el sistema industrial es visto como un ecosistema, donde la actividad industrial está relacionada con el entorno y el medio social (Jelinski *et al.*, 1992) y donde se engloba en el sistema industrial a algunos sistemas humanos: agricultura, transporte, producción, etcétera.

La EI, como realidad práctica, es relativamente nueva (Erkman, 1997). Aun cuando en algunos países de Europa surgieron las primeras experiencias

en la década de 1970 y algunas voces en Europa y América hablaban de esta temática, no se empezó a desarrollar ampliamente hasta la década de 1990. En 1989 se publicó el primer artículo que habla de ecosistemas industriales (Frosch y Gallopoulos, 1989). En 1997 se creó la primera revista de EI, *Journal of Industrial Ecology*. También en ese año se celebró en Barcelona (España) el Primer Congreso Europeo de Ecología Industrial, dentro de la Feria de Ecomed-Pollutec, organizado por el Instituto Químico de Sarriá. En 2001 se constituyó la Sociedad Internacional de Ecología Industrial (ISIE) y se celebró el primer congreso internacional de ecología industrial.

Algunos de los ejemplos que han dado lugar a la ecología industrial empezaron hace unos 35 años en Europa (Kalundborg, Styria), posteriormente, en la década de 1990 se desarrollaron en América (Brownsville y Midlohan en Texas, Estados Unidos; Tampico en Tamaulipas, México; Montreal en Canadá, etcétera) y en Asia. En Australia surgieron más tarde, especialmente a final de la década de 1990 y a principios del 2000 (NEDA en China, Naroda en India, Ulsan en Korea, Bugangan Baru en Indonesia, etcétera).

En el plano académico, los primeros títulos sobre EI surgieron en universidades de Holanda, de Noruega y de Estados Unidos, posteriormente los estudios de EI se extendieron a muchos países de Europa, América, Asia y Oceanía. Como política pública, se introdujo por primera vez en Japón, posteriormente en China, a través de la política de la economía circular, en el 2000; en 2003 en el Reino Unido y a finales de la primera década de este siglo en Tailandia, Corea y Holanda (Cervantes *et al.*, 2009).

En México la primera experiencia se desarrolló en Tampico, en 1997, a partir del proyecto “Sinergia de subproductos” promovido por el Bussiness Council for Sustainable Development-Gulf of México y por AISTAC (Asociación de Industriales del Sur de Tamaulipas), más tarde la EI fue promovida por la Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco y por el Instituto Politécnico Nacional.

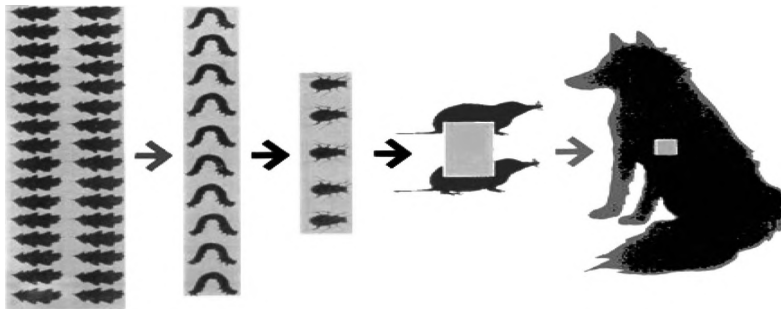
La ecología industrial y los ecosistemas naturales

Si observamos el funcionamiento de un ecosistema natural maduro en equilibrio descubrimos algunos rasgos que nos pueden ayudar a comprender a los ecosis-

temas industriales (Margalef, 1985): existen diferentes eslabones en la cadena trófica (herbívoros, consumidores primarios, descomponedores, etcétera) y estos eslabones no forman parte de una cadena lineal, ni de un círculo perfecto, sino de una red de interrelaciones que acaba cerrando los ciclos materiales; en el paso de materia de un nivel trófico a otro se disipa mucha energía, y por tanto nunca hay muchos eslabones en una cadena trófica (Figura 1); no existen residuos, sólo subproductos que pueden ser usados por otras especies como recurso; la mayor parte de la energía de un ecosistema se consume en los procesos que llevan a cabo los descomponedores para permitir el cierre de ciclo; la única fuente de energía en un ecosistema en equilibrio es la energía solar; los ecosistemas en equilibrio consiguen una gran ecoeficiencia, interrelación y especialización, pero al mismo tiempo son frágiles; muchas interrelaciones se rigen por la colaboración y autoorganización; es necesario mucho tiempo para que un ecosistema evolucione hasta el estado de madurez o equilibrio.

FIGURA 1

Disipación de energía al pasar de un eslabón a otro en una cadena trófica



Fuente: British Museum (1982).

Los rectángulos representan la energía contenida en los materiales. La materia indicada es la que necesita el siguiente eslabón para alimentarse.

Pero la misma naturaleza muestra que el estado de equilibrio es casi imposible de conseguir. En el planeta Tierra estamos rodeados de residuos de la naturaleza, no asimilados por el propio planeta, como son los combustibles fósiles y la piedra caliza, entre otros (Jensen, 2011).

Por analogía, el análisis de este funcionamiento, desde el punto de vista industrial, permite deducir que no se puede reaprovechar indefinidamente un residuo en sucesivas valorizaciones, ya que cada vez su contenido energético es menor, y por tanto sería necesario aportar mucha energía externa y se encarecería el proceso. También es importante considerar que si se quiere cerrar el ciclo de materia es necesario invertir en energía.

Además, se observa que si se desea construir un sistema ecoindustrial no es suficiente establecer relaciones lineales, sino que es necesario construir una red de intercambio y relaciones. De igual manera que para las especies, la clave del éxito de su adaptación es conseguir una mezcla de biodiversidad, flexibilidad y relaciones entre especies, para la adaptación y consolidación de un ecosistema industrial se deberá establecer una red de relaciones e intercambios, contar con industrias y/o entidades de diferentes sectores y ser flexibles en las relaciones productivas establecidas. Esto supone para el sistema industrial (entendido en el sentido amplio de actividades humanas) mantener un equilibrio entre la cooperación y la competencia. También es necesario considerar que para obtener un alto nivel de intercambios la clave está en tener un gran número de entidades que puedan intercambiar (Erkman y Ramaswamy, 2003).

El desarrollo de la ecología industrial en diferentes continentes

En América

Hay un gran número de ecosistemas industriales en América del Norte y alguno en América Central. En Canadá y Estados Unidos, la presencia de suelo libre permitió el desarrollo de nuevos ecosistemas industriales (Lowe *et al.*, 1998). Los más importantes son en Canadá: Burnside, en Halifax, Nova Scotia; The Bruce Energy Centre, en Tiverton, Ontario; Baix Richelieu, en Quebec; Calgary, en Alberta. En Estados Unidos destacan: la comunidad ecoindustrial de Devens, en Massachussets; Brownsville Eco-Industrial Park, en Brownsville, Texas; Chaparral Steel en Midlohan, Texas; Port of Cap Charles Sustainable Technologies Industrial Park, en Cape Charles, Virginia; Londonderry Ecological Industrial Park, en Londonderry, New Hampshire; Barceloneta, Puerto Rico (Indigo Development, 2011).

También, bajo el nombre de sinergia de subproductos (By-product synergy) (BSD Global, 2010) se desarrollaron en el corredor industrial de Altamira-Tampico, (Tamaulipas, México) (BCSDGM, 1997) (BCSDGM, 1999), en Midlohan (Texas, Estados Unidos) y en otros lugares del mundo experiencias de intercambios de subproductos y residuos con la idea de aproximarse a un ciclo cerrado de materia. Este tipo de experiencias están incluidas dentro del área de la ecología industrial. La clave del éxito de esta experiencia fueron: el apoyo del World Business Council for Sustainable Development (BCSD, 2010), la existencia de la Asociación de Industriales del Sur de Tamaulipas (AISTAC), que aglutinaba a la mayoría de las empresas y la confianza que se llegó a crear entre los participantes en la experiencia. Los intercambios entre estas empresas continúan hasta el día de hoy, pero de manera dinámica, con sinergias que se crean y otras que desaparecen, tal como pasa en los sistemas vivos.

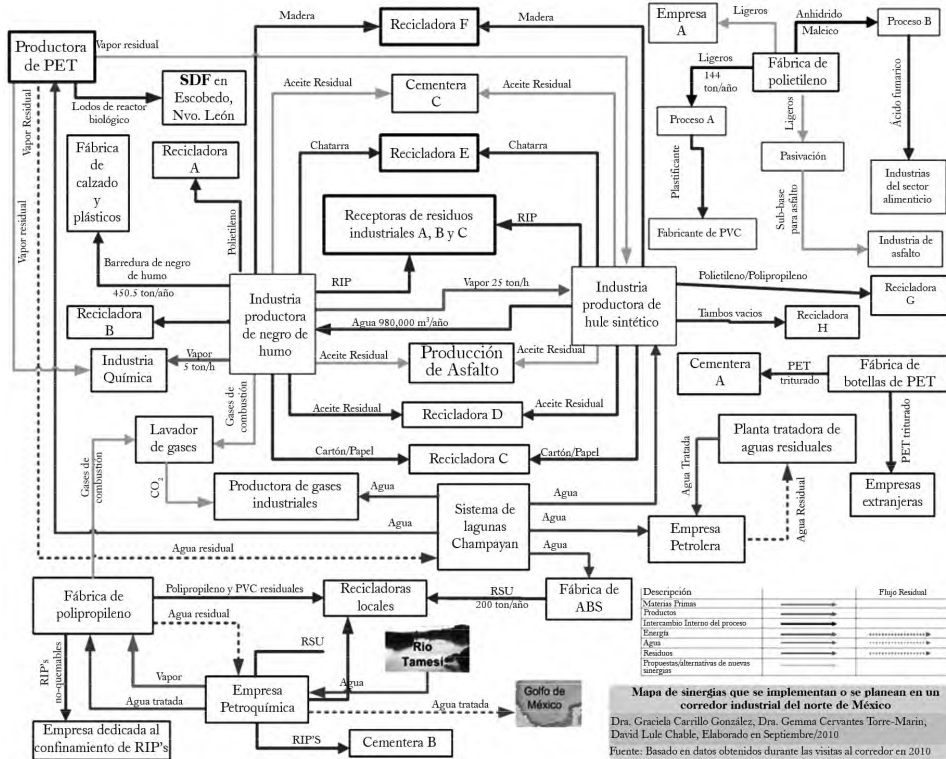
También desde el 2006, el grupo AGSEO, del Departamento de Producción Económica de la Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco (AGSEO, 2010), inició investigaciones en torno a la EI en la sinergia de subproductos en Tamaulipas. En 2008 inició el proyecto “Factores determinantes para la ecología industrial en un sistema complejo: el corredor industrial de Altamira-Tampico y el Valle de Toluca”, financiado por Conacyt-CB-07. En colaboración con el Grupo de Investigación en Ecología Industrial (GIEI) del Instituto Politécnico Nacional (IPN) se realizó el diagrama de las sinergias del corredor industrial de Altamira-Tampico en 2010 (Diagrama 1).

En el Diagrama 1 pueden observarse, en líneas continuas, los materiales o energía aprovechados y en línea discontinua los residuales.

Por otro lado, en el 2007 se creó el Grupo de Investigación en Ecología Industrial (GIEI), dentro del IPN, que desde entonces ha desarrollado proyectos de EI en sistemas agropecuarios, en sistemas de gestión de residuos sólidos urbanos (RSU), en empresas biotecnológicas, en corredores industriales, como el de Tamaulipas y en otras industrias, lo cual hace en colaboración con gobiernos, con empresas y también en proyectos de investigación con financiamiento externo (Conacyt, Unión Europea, ICYT-DF, etcétera). A continuación se puede observar el diagrama del ecosistema industrial “Granja Orgánica Xochimancas”, fruto de un estudio del grupo GIEI (Cervantes, 2008). Esta granja se estudió como si fuera un sistema ecoindustrial, donde cada entidad de la granja era “una

DIAGRAMA 1

Sinergia de subproductos en el corredor industrial Altamira-Tampico (Tamaulipas) 2010



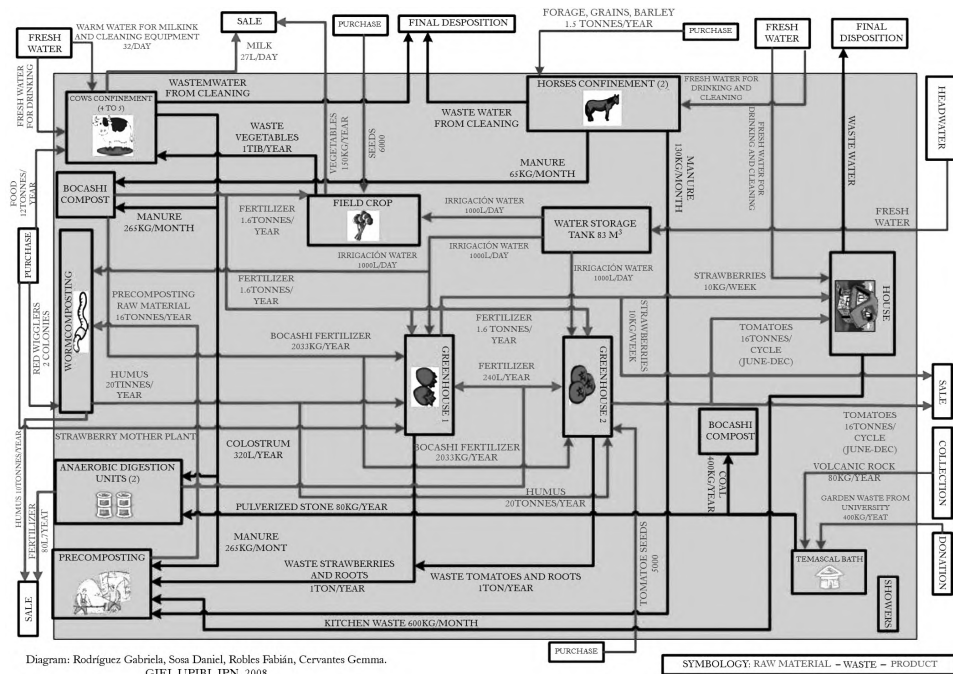
Fuente: Lule (2011).

industria”. Esto permitió definir las sinergias existentes dentro de la granja y proponer nuevas, tal como se muestra en el Diagrama 2.

También Concamín, a través del Programa NISP (National Industrial Symbiosis Programme), inició en 2008 el Programa NISP-México, que estableció en dos años más de 30 sinergias entre industrias en una zona industrial de Lerma, Toluca (Estado de México) (NISP, 2011).

En agosto de 2010 tuvo lugar en Celaya el primer congreso en México que incorporó una mesa específica de EI. También en esa fecha se creó la Red Mexicana

DIAGRAMA 2
Sinergias Granja Orgánica Xochimancas (México)



Fuente: Cervetas (2008).

de Ecología Industrial (Remei) que agrupa a centros universitarios, industrias y asociaciones industriales de diferentes entidades federativas de la República y que tiene como objetivo difundir la EI y promover proyectos y acciones de EI en México. Actualmente está coordinada por el grupo GIEI del IPN (GIEI, 2011).

En Asia

La EI en Asia empezó a desarrollarse un poco más tarde que en otros continentes, a mediados de la década de 1990. Se inició y desarrolló a una gran velocidad, ya que se encontraron con industria y tecnologías obsoletas, que generaban muchos

residuos. En tal situación, la simbiosis industrial (el uso de residuos como materia prima de otras industrias) supuso una solución rápida, económica y con muchas ventajas ambientales, mientras se iba desarrollando la innovación tecnológica. Otro factor muy importante para su rápido desarrollo fue la adopción de políticas nacionales que incorporaban la EI o la SI. Primero se dio esta circunstancia en China con la adopción de la economía circular como política nacional. Posteriormente en Japón con las Ecociudades (“Eco-Towns”) y más recientemente en Corea, donde se incorporaron los Parques Ecoindustriales como política nacional. En Corea, incluso, se creó en 2010 la Sociedad Coreana de EI. En China existen más de 50 parques ecoindustriales y en Corea entre 30 y 40. Otros países en los que está muy desarrollada la ecología industrial son Tailandia e India.

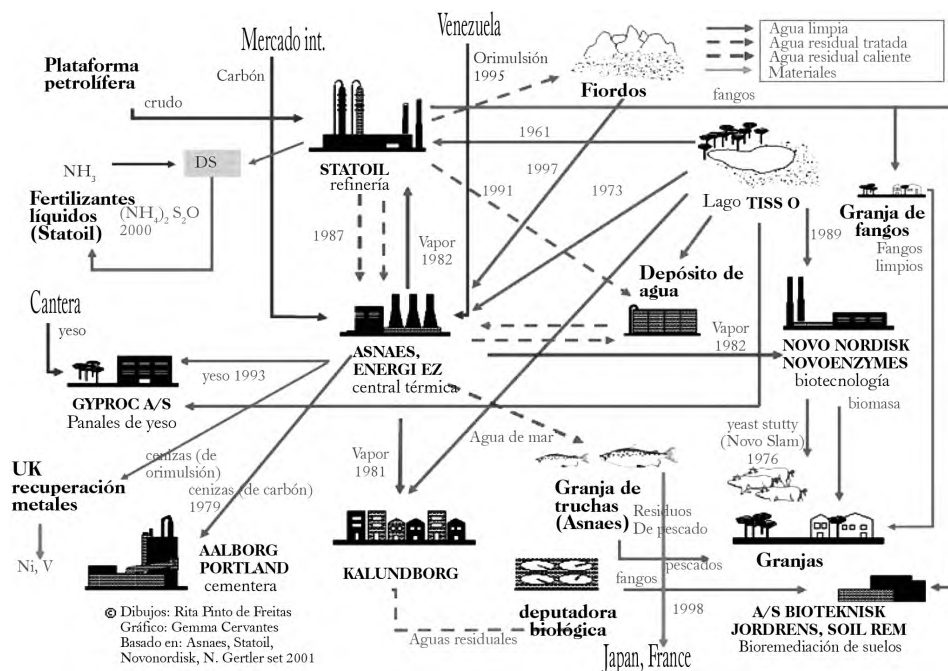
Un ejemplo interesante es el de Naroda, en India (UNEPIE, 2010). Este polígono industrial, de 900 empresas, coordinado por la Naroda Industries Association (NIA), la asociación de polígonos industriales de Naroda, está implantando varias medidas medioambientales, entre las que destaca el proyecto de trabajo en red ecoindustrial (Eco-industrial Networking), en colaboración con algunas universidades. También hay ejemplos ecoindustriales en Indonesia (Bugangan Baru, Semarang, entre otros), en Tailandia, en Corea, Japón y otros países.

En Europa

Hay algunas experiencias de EI en Europa, sin embargo, no tantas como se podría esperar, teniendo en cuenta que las primeras experiencias de EI surgieron en este continente en la década de 1970. La más importante es la de Kalundborg (Dinamarca), que nació al azar y posteriormente se convirtió en una de las experiencias más completas de simbiosis industrial a escala mundial. También hay una red de reciclaje de subproductos en Styria (Austria) (Styrian Recycling System, 2010), surgida en la década de 1980 que incluye a industrias papeleras, cementeras, siderurgias, textiles, productoras de energía, etcétera. Otras experiencias europeas de EI o SI son: Turku y Jyväskylä, en Finlandia; Chamuska, en Portugal; el Progetto Closed (ARPAT, 2010) en la región de la Toscana, Italia, Ora Ecopark, en Fredrikstad, Noruega, Herning-Ikast Ecological Bussiness Park Project, en Dinamarca (Herning-Ikast, 2010), proyectos Ecosind (2010), Mesval (2010), Mecosind y Cicle, en Catalunya, España.

En el Diagrama 3 puede observarse el ejemplo de simbiosis industrial de Kalundborg (Dinamarca), tal como estaba en el 2001. Este es un ecosistema industrial centrado especialmente en empresas termoeléctricas, refinería de petróleo, empresas biotecnológicas, cementeras y mineras, entre otras empresas.

DIAGRAMA 3
Simbiosis industrial en Kalundborg (Dinamarca) 2001



Fuente: Cervantes (2002).

Algunas de las sinergias que se producían en Kalundborg en 2001, aún continúan y son las siguientes:

- La empresa Novozymes producía enzimas a partir de harina de patata y de maíz. La biomasa residual fue utilizada por más de 600 agricultores como

fertilizante para los campos, lo que redujo casi en su totalidad el uso de fertilizantes químicos en la región en la que se encuentra la empresa.

- La empresa biotecnológica Novo Nordisk A/S producía insulina a partir de azúcares y levaduras, la biomasa residual de la levadura se utilizaba como alimento para ganado porcino sustituyendo en 70% la proteína utilizada en el alimento para ganado porcino. En el 2008 cerca de 800 mil cabezas de ganado porcino fueron alimentados con este alimento de biomasa residual.
- El agua residual de Novozymes es depurada en una planta de tratamiento propia hasta que alcanza los parámetros adecuados para ser enviada a la planta de tratamiento municipal. La temperatura del agua es considerablemente alta lo que favorece el tratamiento posterior.
- El vapor proveniente de la central térmica ASNAES-Energy E2 es transportado a través de tuberías a las empresas Novo Nordisk A/S y Novozymes A/S, que lo utilizan para calentar los medios de reacción y para esterilizar.
- El vapor de la central térmica es también utilizado por las 4 500 casas del municipio como calefacción. Este vapor es transportado por tuberías que fueron financiadas en 50% por Asnaes y en 50% por el municipio de Kalundborg. Cuando cada vecino se conecta al sistema de calefacción paga la parte proporcional correspondiente al municipio. El vapor también calienta los tanques de la refinería de petróleo Statoil, donde se desarrolla el *cracking*. Este vapor cubre 15% de las necesidades de vapor de la refinería.
- El agua salada de los procesos de refrigeración alimenta una granja de truchas de mar y de salmón que produce 200 toneladas de estos peces al año. También toman aguas usadas procedentes de otras industrias y las utilizan en procesos de limpieza de instalaciones.
- El dióxido de azufre emitido es combinado con piedra caliza (carbonato de calcio) y se obtienen yeso (sulfato de calcio) que es vendido a BPB Gyproc A/S (200 mil ton/año), una empresa de producción de paneles de yeso.
- Las cenizas de la térmica (80 mil ton.) son aprovechadas por una cementera para la fabricación de cemento y otros productos (si proceden del carbón) o son llevadas para la extracción de níquel y vanadio (si proceden de la orimulsión).

La simbiosis industrial en Kalundborg ha evolucionado en muchos sentidos. Por un lado los intercambios están en continuo cambio, a veces por la aparición o

desaparición de empresas y otras veces por la reconversión de procesos (Jacobsen, 2006). Por otro lado, el Instituto para la Ecología Industrial (anteriormente Instituto de Simbiosis Industrial) (Symbiosis Institute, 2010), que coordina la simbiosis, ha llevado la simbiosis industrial hacia un sistema de ecología industrial que incluye medidas ambientales y sociales, pudiendo decir actualmente que éste es un ejemplo de ecología industrial.

Recientemente se instaló una planta de producción de etanol que establece sinergias de aprovechamiento térmico (vapor y agua caliente) con las empresas circundantes. Cada año se establece alguna nueva sinergia y hay otras que desaparecen. El sistema está en continua evolución, lo cual manifiesta su similitud con los ecosistemas naturales.

En Oceanía

A pesar de que hay pocas experiencias de EI en Oceanía, las que existen van creciendo. El ejemplo más relevante es el del Parque ecoindustrial de Kwinana en Australia (Van Beers *et al.*, 2005), un ejemplo extenso de simbiosis industrial en una zona minera de Australia, iniciado en 2004 y llevado a cabo por el Centre for Sustainable Resource Processing (CSRP) de la Curtin University of Technology.

Herramientas y métodos de la ecología industrial

La ecología industrial no se limita sólo a los métodos de cierre de ciclo, también denominados simbiosis industrial y metabolismo industrial (Ayres, 2001), sino que se sirve de otros muchos métodos que contribuyan a disminuir el impacto ambiental, mejorar la ecoeficiencia y aumentar la rentabilidad, siempre tendiendo hacia un mayor desarrollo sustentable. Por tanto, en el estudio o la implantación de un ecosistema industrial se pueden usar métodos y herramientas como el análisis de ciclo de vida, la producción más limpia, el análisis de flujo de materia, el análisis económico-ambiental, la ecoeficiencia, los indicadores de desarrollo sustentable, las bolsas de residuos o subproductos, la huella de carbono y huella ecológica, análisis de redes sociales, etcétera, pero teniendo en cuenta que aquello

más específico de la ecología industrial es crear una red de industrias, vinculadas por sus residuos y a la vez relacionadas con el entorno social y natural. Estos métodos y herramientas se describirán con mayor detalle en el capítulo III.

Indicadores de desarrollo sustentable

Para conocer en qué grado de avance respecto al desarrollo sustentable (DS) se encuentran los ecosistemas industriales es necesario cuantificar y medir. Los sistemas de indicadores de DS son una herramienta importante para poder medir este grado de avance. Existen muchos sistemas de indicadores de DS creados por entidades internacionales y nacionales para ciudades, regiones y países (UN-CSD 2010) (UPC 2011), pero muy pocos para evaluar procesos o sistemas más reducidos. El proyecto europeo MESVAL (2010) y el Grupo de Investigación en ecología industrial del IPN crearon un sistema de indicadores de DS para evaluar la sustentabilidad global de un ecosistema industrial y también para comparar el grado de DS de dos valorizaciones distintas de un mismo residuo.

El sistema de indicadores está construido con base en objetivos de DS en las áreas social, económica y ambiental. Para el diseño de indicadores se determinan primero los objetivos de sustentabilidad, posteriormente los temas y finalmente los indicadores. De esta manera, al calcular los indicadores para un ecosistema industrial se puede comprobar el comportamiento de estos sistemas en cuanto a diferentes criterios y objetivos del desarrollo sustentable.

El dinamismo propio de la EI provoca que cada vez se vayan aplicando nuevas herramientas y metodologías, tales como cálculo de huella de carbono, estudio de sistemas complejos, metodología de redes sociales, estudio de escenarios, etcétera.

Estrategias para la implementación de la ecología industrial

Una posibilidad para la implementación de la EI es la conversión de un polígono industrial existente en un parque ecoindustrial (Bourg y Erkman, 2003). Esto puede hacerse estudiando los flujos materiales, energéticos y de información en el polígono y fomentando entre las empresas el establecimiento de sinergias.

Estas sinergias pueden ser de diferentes tipos:

- Aprovechamiento de residuos de una empresa como materia prima de otra.
- Utilización o establecimiento conjunto de una infraestructura.
- Utilización de un servicio conjunto.

Otra posibilidad de implementación es la planificación desde el inicio de un parque ecoindustrial y su creación posterior. En este caso se planifica previamente qué empresas deben establecerse, qué incentivos fiscales o de otro tipo pueden ofrecerse a las empresas y qué sinergias se van a dar entre ellas (Cohen-Rosenthal y Musnikov, 2003).

Como los polígonos industriales suelen depender de las entidades gubernamentales locales o estatales, es importante el establecimiento de relaciones de colaboración entre estas entidades y los/as correspondientes agentes asesores de ecología industrial.

Para el completo desarrollo de la ecología industrial es necesario establecer colaboraciones entre entidades gubernamentales, ya sean federales, estatales o locales con las asociaciones industriales y las universidades o centros de investigación. También es necesario difundir el concepto entre las empresas y entidades para que conozcan todos los beneficios económicos, ambientales y sociales que ésta comporta. Otra estrategia importante es el fomento de la educación en ecología industrial, en escuelas y universidades, para formar a los futuros agentes que desarrollarán la EI en el país UPC (2010), UAB (2010), NTNU (2010) y TUDelft (2010).

La ecología industrial y la innovación

La ecología industrial promueve la innovación en sistemas industriales a partir de un cambio de concepción, donde el límite no está en la propia empresa sino donde se crea una red de colaboración y negocio con otras empresas, con entidades gubernamentales y con el ecosistema natural. Esta visión global y de colaboración promueve la creación de redes y éstas a su vez fomentan nuevas visiones, nuevas prácticas. La creación de redes ecoindustriales no se limita a la visión de los flujos

materiales y energéticos, sino que toma en consideración las relaciones sociales de diferentes tipos, formando así una red ecoindustrial completa.

También fomenta la innovación al considerar los residuos como una materia prima. Esta visión promueve la creación de nuevos procesos y sistemas para valorizar los residuos y también incluye la búsqueda de procesos más eficientes para disminuir el consumo de recursos. Son aspectos que fomentan la innovación tecnológica como método para promover la eficiencia en el uso de energía, aumentar la intensidad de los materiales y buscar la ecoeficiencia.

Conclusiones

La ecología industrial, como área de conocimiento, es relativamente nueva pero se está desarrollando de forma acelerada en todo el mundo, especialmente en Asia. Los ecosistemas industriales surgen como analogía a los ecosistemas naturales, aunque en su funcionamiento distan mucho de ellos. Sin embargo, esta analogía aporta a la ecología industrial elementos que la potencian hacia un desarrollo sostenible y hacia la ecoeficiencia. La creación de redes y la visión sistémica son aportes significativos de la ecología industrial a los sistemas industriales tradicionales. La ecología industrial utiliza diferentes herramientas, especialmente aquellas que favorecen la interrelación entre industrias. También promueve la innovación por el cambio de enfoque de la empresa individual hacia una mirada sistémica.

Bibliografía

- Ayres, R. y L. Ayres (2001), *A Handbook of Industrial Ecology*, Northampton, Edward Elgar Publishing, Inc.
- Bey, C. (2001), "Quo Vadis Industrial Ecology?", *Greener Management International*, núm. 34, pp. 35-42.
- Bourg, D. y S. Erkman (eds.) (2003), *Perspectives on Industrial Ecology*, Sheffield, Greenleaf Publishing Limited.
- British Museum (1982), *La naturaleza en acción: introducción a la ecología*, Barcelona, Ketres.
- Cervantes, G. (2002), "A new methodology for teaching industrial ecology", ponencia

- presentada en el Conference Engineering Education in Sustainable Development (EESD), Delft, The Netherlands, octubre.
- (2007), *Ecología industrial*, Barcelona, Fundació Pi i Sunyer.
- (2007), “A methodology for teaching industrial ecology”, *International Journal of Sustainability in Higher Education*, vol. 8, pp. 131-141.
- , F. Robles, MC. Calixto, G. Rodríguez y D. Sosa (2008), “Applying industrial ecology in an organic farm”, ponencia presentada en el 3rd International Meeting on Environmental Biotechnology and Engineering, Palma de Mallorca, España, septiembre.
- Cervantes, G., R. D. Sosa, G. Rodríguez, y F. Robles, “Ecología industrial y desarrollo sustentable” (2009), *Ingeniería. Revista Académica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Yucatán*, vol. 13(1); pp. 63-70.
- Cohen-Rosenthal y E.J. Musnikow (2003), *Eco-industrial Strategies. Unleashing Synergy Between Economic Development and the Environment*, Sheffield, Greenleaf Publishing.
- Ehrenfeld, J. (1997), “Industrial ecology: a framework for product and process design”, *Journal of Cleaner Production*, vol. 5, pp. 87-95.
- (2004), “Can Industrial Ecology be the Science of Sustainability?”, *Journal of Industrial Ecology*, núm. 8, pp. 1-3.
- Ehrenfeld, J. y N. Gertler (1997), “Industrial Ecology in Practice: The Evolution of Interdependence at Kalundborg”, *Journal of Industrial Ecology*, vol. 1, pp. 67-79.
- “EIDP-IS (2011); Eco-industrial Development- Industrial Symbiosis Section”, *Actas del 8th Annual Industrial Symbiosis Research Symposium*, San Francisco, Junio.
- Erkman, S. (1997), “Industrial Ecology: an historical view”, *Journal of Industrial Ecology*, vol. 5, pp. 1-10.
- (2001), “Industrial Ecology: a new perspective on the future of the industrial system”, *Swiss Medical Weekly*, núm. 131, pp. 531-538.
- y R. Ramaswamy (2003), *Applied Industrial Ecology: A New Platform for Planning Sustainable Societies*, India, Aicra, cop.
- Erkman, S., R. Ramaswamy (2003), *Applied Industrial Ecology: A New Platform for Planning Sustainable Societies*, India, Aicra, cop.
- Frosch, R.A. y N.E. Gallopoulos (1989), “Strategies for Manufacturing: Waste from one Industrial Process can Serve as the Raw Materials for Another, Thereby Reducing the Impact of Industry on the Environment”, *Scientific American*, núm. 261, pp. 94-102.
- Jacobsen, N.B. (2006), “Industrial Symbiosis in Kalundborg, Denmark: A Quantitative Assessment of Economic and Environmental Aspects”, *Journal of Industrial Ecology*, núm. 10, pp. 239-255.

- Jelinski, L., T. Graedel, R. Laudise, D. McCall y K. Patel (1992), "Industrial Ecology: concepts and approaches", *Proceedings of the National Academy of Sciences*, núm. 89, Estados Unidos, pp. 793-797.
- Jensen, P., L. Basson, M. Leach (2011), "Reinterpreting Industrial Ecology", *Journal of Industrial Ecology*, núm. 15, pp. 680-692.
- Lowe, E.A., J.L. Warren y S.R. Moran (1997), *Discovering Industrial Ecology*, Columbus, Battelle Press.
- Lowe, E.A., S.R. Moran y D.B. Holms (1998), *Eco-industrial Parks: a Handbook for Local Development Teams*. Emeryville, CA, RPP International.
- Lule, D. y G. Cervantes (2011), "La sinergia de subproductos en el corredor industrial de Altamira-Tampico: una herramienta para la ecología industrial", ponencia presentada en el Sexto Congreso Internacional de Sistemas de Innovación para la Competitividad, León, México, agosto.
- Margalef, R. (1985), *La ecología*, Barcelona, Diputación de Barcelona.
- Pastor, R. (1996), "Ecología industrial, por una industria sostenible", *Ingeniería Química*, núm. 327, pp. 293-297.
- Spiegelman, J. (2003), "Beyond the food web: connections to a deeper industrial ecology", *Journal of Industrial Ecology*, núm. 7, pp. 17-23.

Referencias electrónicas

- Business Council for Sustainable Development- Gulf of Mexico (BCSDGM) (1999), By-Product Synergy: a Demonstration Project, Tampico, México [http://www.hatch.ca/Sustainable_Development/Articles/Tampico%20_BPS.pdf], fecha de consulta: 16 de agosto de 2010.
- (1997), By-Product Synergy: a Strategy for Sustainable Development. A Primer [<http://www.smartgrowth.org/pdf/byprod.pdf>], fecha de consulta: 16 de agosto de 2010.
- Guinée, J.B., M. Gorrée, R. Heijungs et al. (2001), "LCA - An operational guide to the ISO-standards", LCA in perspective [<http://www.leidenuniv.nl/cml/>], fecha de consulta: consulta: 3 de mayo de 2006.
- UNEP (s/f), Production and Consumption Branch, Cleaner Production. Cleaner Production Assessment in Industries [<http://www.uneptie.org/pc/pc/tools/cleanerproduction.htm>], fecha de consulta: 15 de noviembre de 2010.
- Van Beers, D., A. Bossilkov y R. Van Berkel (2005), "Capturing Regional Synergies in the Kwinana Industrial Area", 2005 Status Report [www.csrp.com.au/_media/.../]

vanBeers_etal_3B1_StatusReport_Aug05.pdf], fecha de consulta: 15 de enero de 2011.

Páginas electrónicas

- AGSEO [http://dcsh.xoc.uam.mx/produccioneconomica/AGSEO/pagina_AGSEO/Index.htm], fecha de consulta: 12 de noviembre de 2010.
- ARPAT [http://www.arpato.toscana.it/progetti/pr_closed.html], fecha de consulta: 3 de diciembre de 2010.
- BCSD, Bussiness Council for Sustainable Development [<http://www.usbcd.org/>], fecha de consulta: 12 de noviembre de 2010.
- BSD Global [http://www.bsdglobal.com/tools/principles_factor.asp], fecha de consulta: 15 de diciembre de 2010.
- CMPML, Centro Mexicano para la Producción más Limpia [<http://www.cmpl.ipn.mx>], fecha de consulta: 10 de enero de 2011.
- ECOSIND [<http://www.ecosind.net>], fecha de consulta: 14 de diciembre de 2010.
- Grupo de Investigación en Ecología Industrial (GIEI) [<http://www.giei.org>], fecha de consulta: 1 de diciembre de 2010.
- [gieiupibi.wordpress.com], fecha de consulta: 10 de enero de 2011.
- Herning-Ikast [<http://www.eaue.de/winuwd/118.htm>], fecha de consulta: 14 de diciembre de 2010.
- Indigo Development [<http://www.indigodev.com/IE.html>], fecha de consulta: 10 de enero de 2011.
- International Society for Industrial Ecology (ISIE) [<http://www.is4ie.org/>], fecha de consulta: 3 de diciembre de 2010.
- 2011 Conference [<http://isie2011.berkeley.edu/>], fecha de consulta: 3 de febrero de 2011.
- MESVAL Proyecto [<http://www.cimne.com/mesval/>], fecha de consulta: 7 de diciembre de 2010.
- NISP México [<http://www.nisp.org.mx/>], fecha de consulta: 3 de febrero de 2011.
- NTNU, Indecol [<http://www.indecol.ntnu.no/>], fecha de consulta: 1 de diciembre de 2010.
- Symbiosis Institute [<http://www.symbiosis.dk/>], fecha de consulta: 10 de diciembre de 2010.
- Styrian Recycling-System [<http://www.classic.uni-graz.at/inmwww/styria.html>], fecha de consulta: 7 de diciembre de 2010.

- TU Delft [<http://ie.leidendelft.nl/>], fecha de consulta: 12 de diciembre de 2010.
- UPC, Universitat Politècnica de Catalunya [http://www.upc.edu/master/fitxa_master.php?id_estudi=64&lang=esp&id_titulacio=128], fecha de consulta: 1 de diciembre de 2010.
- UPC, Portal de Sostenibilidad [<http://portalsostenibilidad.upc.edu/>], fecha de consulta: 12 de enero de 2011.
- UAB, Universitat Autònoma de Barcelona [<http://www.uab.es/servlet/Satellite?cid=1096480309783&pagename=UAB%2FPage%2FTemplatePageDetallEstudisPOP¶m1=1096480176135¶m2=1>], fecha de consulta: 1 de diciembre de 2010.
- UN-CSD Center for Sustainable Development [www.un.org/esa/sustdev/natinfo/indicators], fecha de consulta: 11 de diciembre de 2010.
- UNEPIE, United Nations Environment Programme, Division of Technology, Industry and Economics [<http://www.unepie.org/pc/ind-estates/casestudies/Naroda.htm>], fecha de consulta: 7 de junio de 2010.
- [http://www.unepie.org/Cp2/what_is/general_info.html], fecha de consulta: 12 de enero de 2011.

CAPÍTULO III

Herramientas y métodos de la ecología industrial

Gemma Cervantes Torre-Marín

La ecología industrial puede utilizar todos los métodos y herramientas que promuevan el desarrollo sustentable en los sistemas industriales. El método propio que no puede faltar en cualquier sistema ecoindustrial es el de cierre de ciclo o simbiosis industrial. El cierre de ciclo o simbiosis industrial permite que los sistemas industriales se conviertan en ecoindustriales al crear una red de industrias, vinculadas por sus residuos y a la vez relacionadas con el entorno social y natural. También permite que se asemejen al funcionamiento de los ecosistemas naturales, donde los residuos de una entidad se convierten en materia prima de otra.

De todos los métodos y herramientas que la ecología industrial puede utilizar hay algunos privilegiados, ya que fomentan la interrelación en el sistema al involucrar a más de una empresa. Estos son: *análisis de flujo de materia* (AFM), *análisis de ciclo de vida* (ACV), mercado de subproductos, diagrama de sinergias, análisis de redes sociales... Otros métodos y herramientas son importantes porque permiten evaluar el nivel de desarrollo sustentable del sistema, como los indicadores de desarrollo sustentable. La ecología industrial también utiliza otras herramientas como producción más limpia, análisis económico-ambiental, la ecoeficiencia, la huella ecológica, de carbono e hídrica, etcétera. A continuación se describen algunos de los métodos usados por la ecología industrial.

Análisis de flujos de materia

El análisis de flujos de materia (AFM) (en inglés *material flow analysis*, MFA) se basa en la compatibilidad de las unidades físicas (toneladas) de las entradas y

salidas de material en relación con un sistema. El principio que rige los estudios de AFM es el balance de masas, o sea el equilibrio que hay entre las entradas y salidas de materia. AFM es un término que agrupa los métodos bulk-AFM (en inglés bulk-MFA, *bulk-material flow accounting*) y análisis de flujo de sustancias (AFS) (en inglés SFA, *substance flow analysis*). Los dos métodos se enfocan a la mejora medioambiental y económica a partir de la desmaterialización, pero bulk-AFM pretende reducir todos los flujos materiales mientras que AFS pretende reducir o sustituir los flujos ambientalmente perjudiciales (por ejemplo un metal como cadmio o plomo). Cuando se cuantifican los flujos monetariamente, el método se llama análisis de entradas y salidas (*Input-Output Analysis*, IOA).

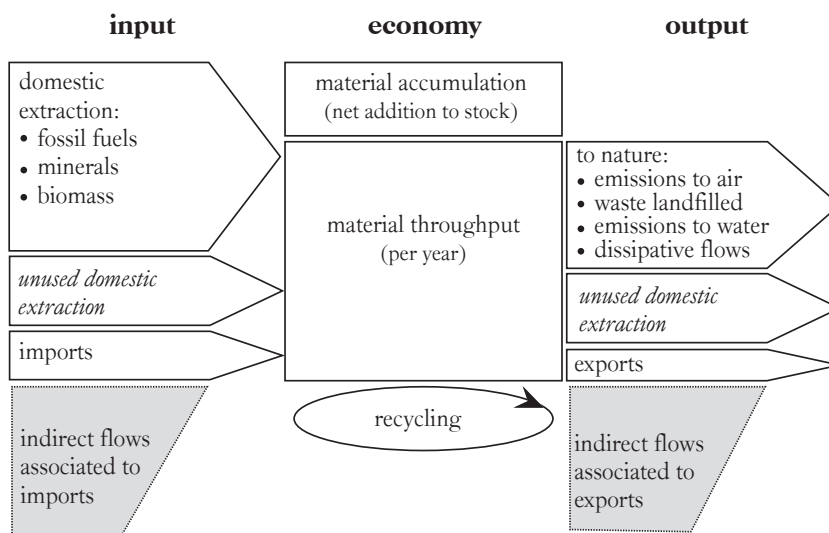
Análisis de flujo de materia de un territorio o economía (bulk-MFA)

Bulk-AFM es un método para identificar todos los flujos materiales relacionados con todos los procesos de un sistema determinado. Estos flujos incluyen las materias primas, productos, residuos y contaminación que entra y sale del sistema. Por tanto, este método nos da una visión comprensiva del metabolismo del sistema, no sólo de los flujos de entrada y salida, sino también de las acumulaciones en el sistema. A pesar de que contabilice las acumulaciones, este método no identifica los flujos en el interior del sistema, ya que lo considera como una caja negra (Eurostat, 2001).

Eurostat, la oficina estadística de la Unión Europea, ha estandarizado un método para realizar AFM. A este método lo llaman *economy-wide material flow accounts* (EW-MFA) y su objetivo es el mismo que el de bulk-AFM, pero con mayor énfasis en la parte económica. EW-MFA pretende describir la interacción de la economía doméstica con el medio ambiente y con el resto de la economía mundial, en términos de flujos de materiales (excluyendo aire y agua) (Eurostat, 2012).

Las guías publicadas por Eurostat incluyen una extensa lista de los materiales, flujos y acumulaciones que es necesario considerar en un bulk-AFM completo. En el Diagrama 1 se puede observar un esquema de lo que contempla el AFM (los flujos de agua y aire no se consideran).

DIAGRAMA 1
Esquema de Bulk-AFM



Fuente: Steurer y Schütz (2000).

Los resultados de AFM tienen aplicaciones políticas y de planificación. Como este método da una visión global de las entradas, salidas y acumulaciones de materiales en un área geográfica, puede ayudar a identificar y prever tendencias futuras para los materiales.

Pero un bulk-AFM no da una indicación directa del impacto ambiental generado por un flujo de materiales cuando atraviesa un territorio, ya que este impacto no es directamente proporcional a la cantidad de materiales, sino que tiene que ver también con el tipo de materiales. Por tanto, para conocer el impacto ambiental de los materiales deberá hacerse un estudio de impacto ambiental u otros estudios complementarios al análisis de flujos de materia.

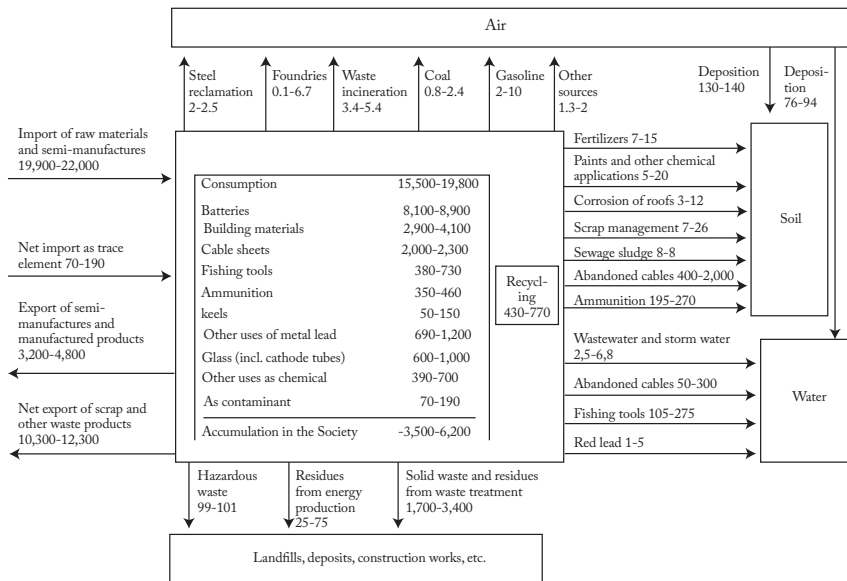
Análisis de flujos de sustancias

El análisis de flujos de sustancias (AFS) es el segundo método dentro del paraguas del AFM; no analiza un sistema entero, sino que se centra sólo en una sustancia

o grupo de sustancias, incluyendo todos los procesos en los cuales la sustancia entra o sale (Brunner y Hwong-Wen, 2009).

Un ASF es más detallado que un bulk-AFM, ya que analiza también los flujos dentro del sistema. Mientras que el bulk-AFM trata el sistema como una caja negra, a causa del gran volumen de flujos considerados, el AFS permite echar una mirada más detallada a los procesos internos del sistema. Los AFS suelen comprender un intervalo temporal de un año y al igual que el bulk-AFM no dan información de los impactos ambientales asociados a los flujos de la sustancia estudiada. En el Diagrama 2 puede observarse el análisis de flujo de sustancias para el plomo en Dinamarca.

DIAGRAMA 2
Análisis de flujo de sustancias para el plomo en Dinamarca (1994)



Fuente: Hansen y Lassen (2002).

Para utilizar un AFS se destacan cinco aplicaciones importantes:

- a) Para identificar flujos de un alto impacto ambiental (por ejemplo, identificar las corrientes que contienen plomo).
- b) Para identificar el origen de estos flujos. Un AFS completo dibuja un cuadro cuantificado de flujos de sustancias relacionadas con un aspecto ambiental. En este sentido es capaz de relacionar, aunque sea parcialmente, el problema con su causa.
- c) Para promover la desmaterialización, que es uno de los criterios del desarrollo sustentable. Viendo cuántos y de dónde provienen los materiales, a dónde van y cuántos se acumulan se puede promover la optimización de materiales o la sustitución de algunos, de cara a disminuir los kilos de materia que atraviesan el sistema.
- d) Para verificar la efectividad de ciertas políticas. El modelo del AFS permite prever cómo una medida política influirá en la red de flujos de materiales y cómo esta medida puede contribuir al objetivo deseado (por ejemplo, disminuir un porcentaje de importación de un determinado producto para fomentar la disminución del impacto ambiental de uno de sus componentes en el sistema).
- e) Permite desarrollar escenarios dinámicos para flujos o acumulaciones futuras que permitan prever futuros problemas relacionados con los flujos materiales.

No hay muchos AFS publicados que estudien únicamente a México, pero sí AFS de diferentes materiales hechos para múltiples países, incluyendo a México, por ejemplo el AFS de la plata (Johnson *et al.*, 2005).

Las metodologías relacionadas con AFM van evolucionando y se van creando nuevas derivaciones. Una de las más interesantes es *Material and Energy Flow Accounting* (MEFA) (Haberl *et al.*, 2004), que integra el metabolismo socioeconómico y también algunos procesos naturales, incluyendo el uso de suelo. Es por tanto uno de los métodos (dentro de la familia de AFM) que más se acerca a la integración de los aspectos ambientales, sociales y económicos.

Dentro del campo de la ecología industrial el AFM tiene un papel histórico y de contenido importante (Kleijn, 2000). Incluso existe una sección, dentro de la International Society for Industrial Ecology, dedicada a esta herramienta, la

Socio-Economic Metabolism Section, que inició siendo Material Flow Analysis / ConAccount Section (ISIE, 2012).

Diagramas de flujo de sinergias

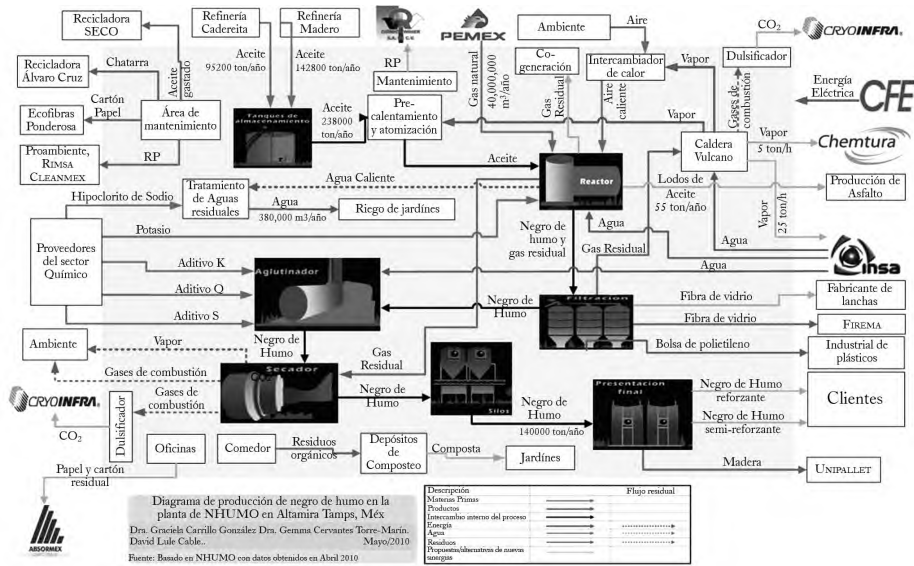
Los diagramas de flujo se utilizan usualmente para describir de manera visual los movimientos de flujos materiales y/o energéticos de los procesos en una empresa. Pero los diagramas pueden también usarse para describir las interrelaciones que se dan entre empresas o entidades que forman parte de un sistema industrial. En los ecosistemas industriales se utilizan los diagramas de flujo para describir las interrelaciones y sinergias entre diferentes entidades. Los diagramas pueden combinar flujos de materias primas, productos, agua, residuos, energía e incluso información. Por sinergia se entiende el intercambio de un residuo como materia prima, la utilización de servicios o infraestructuras conjuntas, la implementación conjunta de una nueva gestión de un residuo, etcétera.

Los diagramas de materia y energía en un ecosistema industrial señalan los flujos materiales y energéticos entrantes y salientes (de producto o residuales). En el Diagrama 3 puede observarse la materia y energía de una empresa, donde el cuadro simboliza los límites de la empresa.

El Grupo de Investigación en Ecología Industrial (GIEI, 2012), del Instituto Politécnico Nacional presenta una nomenclatura (Diagrama 4) que facilita la detección de sinergias entre entidades. Por un lado, se distinguen los flujos que son aprovechados de los flujos residuales según el trazo, sea continuo o discontinuo respectivamente. Por otro lado, se diferencian con colores las materias primas, los productos, los residuos, la energía, el agua y el intercambio interno del proceso productivo. Y por otro se asigna un color a las sinergias potenciales. De esta manera pueden verse rápidamente en un sistema qué flujos no están siendo aprovechados (trazo discontinuo), que sinergias ya están establecidas y que sinergias pueden implementarse (trazos continuos).

En el caso de diagramas sociales se reflejan los flujos de información y de relación social entre entidades. Esta información puede ser: proveedores de materias primas, gestión de residuos, proyectos conjuntos, subvenciones o financiamiento, colaboración en redes, difusión, participación en eventos, formación, utilización

DIAGRAMA 3
Flujo de materia y energía de una empresa



Fuente: Lule (2012).

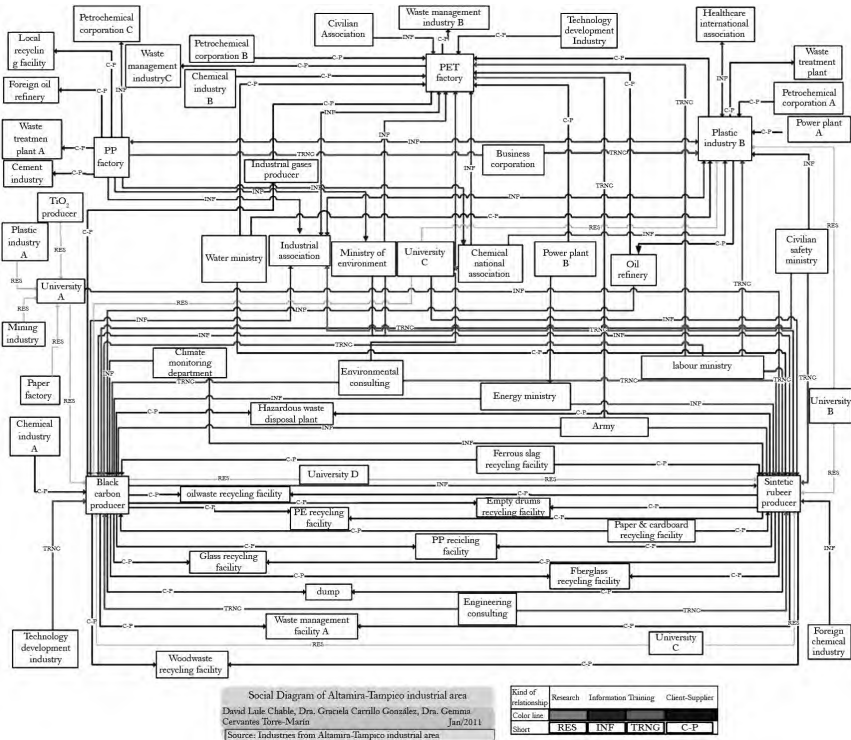
DIAGRAMA 4
Nomenclatura para diagramas de sinergias

Descripción	Flujo residual
Materias primas	→
Productos	→
Intercambio interno del proceso	→
Energía	→
Agua	→
Residuos	→
Propuestas/alternativas de nuevas sinergías	→

Fuente: GIEI (2012).

de servicios o infraestructuras conjuntas, etcétera. En el Diagrama 5 se muestra el diagrama social del corredor industrial Tampico-Altamira.

DIAGRAMA 5
Diagrama social del corredor industrial Tampico-Altamira

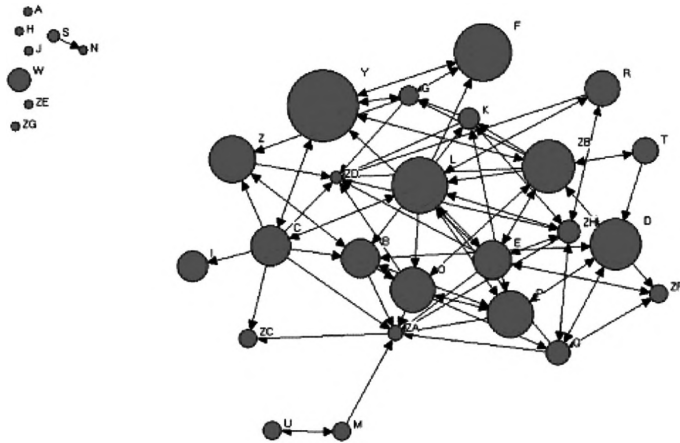


Fuente: Carrillo *et al.* (2011).

Los diagramas sociales pueden también representarse mediante *software* especializados como UCINET (Diagrama 6). En este caso el tipo de relación no está diferenciado pero permite dibujar escenarios de futuro y ver la evolución del sistema cuando se modifican ciertas variables.

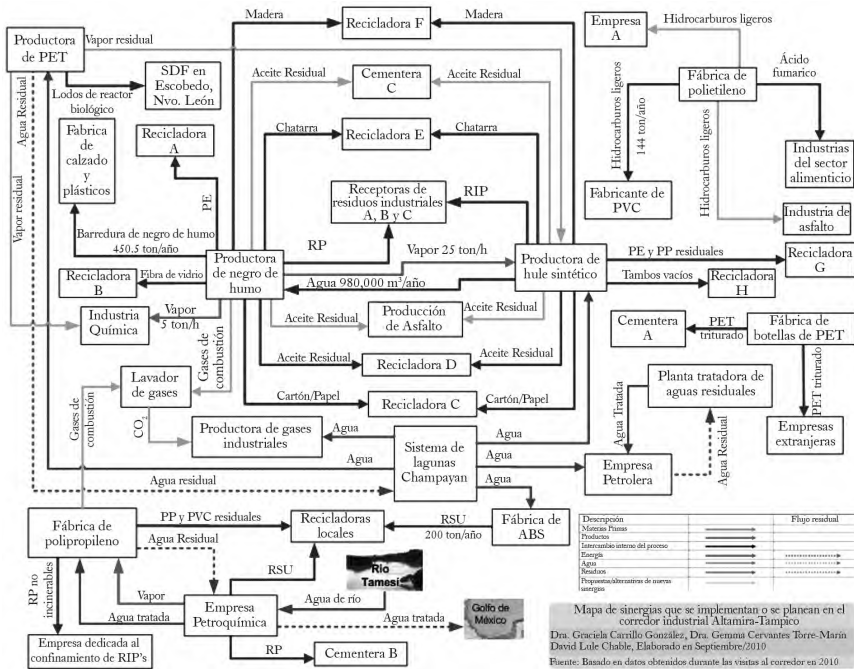
Los diagramas de flujo de sinergias parten de los de flujo de materiales, energéticos y sociales y señalan cuáles de esos flujos son intercambiados entre las empresas y cuáles podrían intercambiarse (sinergias potenciales). En el diagrama de sinergias (Diagrama 7) cada cuadro representa a una empresa o entidad.

DIAGRAMA 6
 Diagrama social según el software UCINET



Fuente: Giuliana et al. (2005).

DIAGRAMA 7
 Diagrama de sinergias del corredor industrial



Fuente: Lule y Cervantes (2011).

Los diagramas de sinergias permiten:

- Detectar qué residuos no están siendo aprovechados y fomentar su aprovechamiento como materia prima de otra entidad. De esta manera se favorece el cierre de ciclo de materia, imitando a los ecosistemas naturales.
- Planear estrategias que permitan a las empresas o entidades involucradas hacer un uso más eficiente de materiales y energía, reducir costos por redistribución de recursos y rediseñar sus relaciones para un mayor beneficio en la entidad.
- Visualizar la evolución de un sistema, con el paso del tiempo, a partir de la observación de los cambios en las sinergias y relaciones que se dan entre diferentes empresas del mismo sistema. Por tanto, puede observarse la creación, mejora o desaparición de una red de simbiosis industrial en el sistema.
- Favorecer la creación de redes entre empresas, tendiendo así a la formación de un sistema interrelacionado, como pretende la ecología industrial.

Todos estos diagramas son una buena herramienta para detectar posibles sinergias entre entidades, ya que proporcionan una mirada global que no se tiene en el análisis particular de una empresa. La simbiosis industrial, incluida dentro de la ecología industrial, utiliza esta herramienta para la detección de sinergias y la creación de redes ecoindustriales.

Mercado de subproductos

También llamados mercados de residuos o bolsas de residuos o subproductos, son un medio, mayormente virtual, por el cual las empresas de distintos sectores pueden difundir e intercambiar residuos que pueden utilizar otras empresas como materia prima en la elaboración de sus productos. Estos mercados gestionan bases de datos de residuos para ser usados como materia prima. Se presentan las ofertas y demandas en forma de anuncios, a veces como boletín en papel y a veces como portal web. Pueden ser locales, regionales o nacionales.

La EI puede utilizarlos como estrategia para fomentar la optimización de los recursos, el reciclaje y la reutilización.

En la actualidad existen varios países que han implementado bolsas de subproductos. En América del Norte se encuentran ejemplos en Estados Unidos

(Global Recycling Network GRN,¹ Southern Waste Information eXchange, Inc.,² SWIX) y Canadá. En América del Sur existe una conjunta –Borsi³ (Bolsa de Residuos y Subproductos Industriales)– entre Colombia, Costa Rica y Ecuador. También en Argentina⁴ (ESCRAP), Costa Rica (Mercado de Residuos y Subproductos Industriales de Costa Rica MERSI),⁵ Colombia (Bolsa del CRPML,⁶ Bolsa de Residuos y Subproductos Industriales de Guayaquil,⁷ Bolsa de Residuos del Oriente Antioqueño⁸), Ecuador (Bolsa de Residuos Quito).⁹ En el caso de Europa se encuentran en España (Bolsa subproductos de las Cámaras de Comercio de España,¹⁰ Borsa de subproductes de Catalunya,¹¹ Alemania, Francia, Países Escandinavos, Reino Unido (Garwer Waste exchange¹²), Luxemburgo, Italia, y Bélgica.

Las primeras bolsas fueron gestionadas por asociaciones empresariales, quienes aseguraban el carácter confidencial del anunciante. Posteriormente y con el objetivo de ampliar el marco de acción de las Bolsas a varios sectores de actividad empresarial, las Cámaras de Comercio comenzaron a organizar estas bolsas, como excepción, la bolsa inglesa (Eastex National Waste Exchange)¹³ y la canadiense (Waste Exchange of Canada),¹⁴ gestionadas por la propia administración ambiental (Hernández y Fernández, 2010).

Los mercados de residuos pudieran parecer una herramienta muy apropiada para implementar simbiosis industriales y una buena manera de ahorrar recursos

¹ [<http://www.grn.com/exchange/>].

² [<http://swix.ws/>].

³ [<http://www.borsi.org/>].

⁴ [<http://www.escrap.com.ar/>].

⁵ [<http://www.borsi.org/html/principal.asp?Bolsa=6>].

⁶ [<http://www.borsi.org/html/principal.asp?Bolsa=3>].

⁷ [<http://www.borsi.org/html/principal.asp?Bolsa=10>].

⁸ [<http://www.borsi.org/html/principal.asp?Bolsa=9>].

⁹ [<http://www.borsi.org/html/principal.asp?Bolsa=7>].

¹⁰ [http://www.camaras.org/publicado/mambiente/bolsa_774.html].

¹¹ [<http://www.subproductes.com/eBSPWEB>].

¹² [<http://www.wastexchange.co.uk/>].

¹³ [<http://www.eastex.org.uk/>].

¹⁴ [<http://www.recyclexchange.net/>].

y disminuir el impacto ambiental, pero presentan problemas logísticos que impiden su expansión y utilización. Muchas veces los residuos que se inscriben en el mercado no son residuos de producción continua, sino fallas de producción que se obtienen esporádicamente por un desajuste en el proceso. Eso impide que otra empresa que lo necesita de forma regular para su producción, como un insumo, lo pueda tener disponible siempre que lo necesite. También muchas veces las páginas web que sirven para comprar y vender los residuos no están suficientemente actualizadas y o bien el residuo inscrito ya no está disponible en las mismas condiciones o la empresa que lo suministraba ya no existe pero no se dio de baja en la página web. A pesar de eso hay mercados de subproductos que han tenido éxito y que funcionan desde hace muchos años, como es el caso de la bolsa de subproductos de Catalunya, que ya lleva 22 años funcionando. En México no existe ninguna bolsa o mercado de subproductos.

Indicadores de desarrollo sustentable

Para conocer en qué grado de avance respecto al desarrollo sustentable (DS) se encuentran los ecosistemas industriales es necesario cuantificar y medir dicho avance. Los sistemas de indicadores de DS son una herramienta importante para poder medir este grado de avance. Existen muchos sistemas de indicadores de DS creados por entidades internacionales y nacionales para ciudades, regiones y países (UN-CSD, 2012) (UPC, 2012), pero muy pocos para evaluar procesos o sistemas más reducidos.

Para el diseño de indicadores (Cervantes, 2007) se determinan primero los objetivos de DS en las áreas social, económica y ambiental, con base en criterios de DS (Figura 8). Estos objetivos no son neutros, sino que orientan y marcan una dirección y tendencia hacia el DS. Posteriormente se pueden determinar uno o varios temas.

Éstos son neutros, cortos y sirven para ordenar los diferentes aspectos que contiene el objetivo de DS. Finalmente se crean los indicadores. Éstos pueden estar compuestos de una variable, una relación entre dos variables o estar compuestos por más variables, en ese caso se llaman índices o macroindicadores.

DIAGRAMA 8
Criterios de desarrollo sustentable para aplicar a sistemas ecoindustriales



Fuente: elaboración propia.

De esta manera, al calcular los indicadores para un ecosistema industrial se puede comprobar el comportamiento de estos sistemas en cuanto a diferentes criterios y objetivos del desarrollo sustentable.

Existen algunos trabajos de indicadores de DS para empresas (Tyteca, 1998) o productos (Cunningham *et al.*, 2004), algunos indicadores ambientales para la EI (Dewulf y Van Langenhove, 2005; Zvolinschi *et al.*, 2007), o económicos (Cleveland y Ruth, 1998), pero muy pocos de creación y aplicación de indicadores de DS para sistemas ecoindustriales (Cervantes y Tiejun, 2010). El proyecto europeo MESVAL (2010) y el Grupo de Investigación en Ecología Industrial (GIEI) del IPN crearon un sistema de indicadores de DS para evaluar el nivel de desarrollo sustentable global de un ecosistema industrial y también para comparar el grado de DS de dos valorizaciones distintas de un mismo residuo (Ecosind, 2006).

Los indicadores de DS pueden ser usados en el campo de la EI para asesorar el análisis promoción e implementación de procesos de ecología industrial a

diferentes escalas. Por ejemplo, evaluando el cambio en el nivel de DS que comporta la implementación de una determinada sinergia entre varias empresas o evaluando qué valorización de un determinado residuo tiene un mayor nivel de DS o para comparar el DS de dos sistemas ecoindustriales distintos, o para ver cómo varía el nivel de DS al pasar de un sistema industrial tradicional a un sistema ecoindustrial, entre otros.

Producción más limpia (P+L)

La P+L es una estrategia que estableció el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (en su Departamento de Transporte, Industria y Medio Ambiente) (UNIDO, 2012) que pretende cambiar los sistemas de producción para generar menos residuos o residuos menos contaminantes. Este método ayuda a descubrir oportunidades de optimización, suele trabajar con compañías en forma individual y puede enfocarse a los productos, procesos o servicios, de manera preventiva, integrada y continua (Baas, 2005).

Las opciones de optimización de la P+L se clasifican en cinco categorías: 1) cambio de materias primas por otras menos impactantes ambientalmente; 2) modificación de un proceso o equipo; 3) mejoras en las prácticas operacionales o buenas prácticas; 4) cambios en el producto para que su proceso de producción contamine menos en todo su ciclo de vida; 5) reciclaje y reúso dentro del proceso de producción para generar menos residuos.

Este mismo programa fomentó la creación de los Centros Nacionales para la Producción más Limpia en distintos países del mundo. En México existe uno ligado al Instituto Politécnico Nacional (CMPML, 2012). La P+L no es una de las herramientas más adecuadas para la EI en el sentido de que no pone en relación varias empresas o entidades, pero sí puede contribuir a mejorar el desempeño ambiental de cada empresa en particular.

Huella ecológica

La huella ecológica (HE) fue definida por Wackernagel y Ress (1996) como “el área de territorio ecológicamente productivo (cultivos, pastos, bosques o

ecosistemas acuáticos) necesaria para producir los recursos utilizados y para asimilar los residuos producidos por una población dada, con un modo de vida específico, de forma indefinida”.

Cabe destacar los principales elementos en esta definición: *a)* la huella se mide en área, o sea indica el territorio consumido; *b)* no habla de cualquier territorio, sino de territorio ecológicamente productivo; *c)* el territorio es necesario para producir recursos; *d)* el territorio también se necesita para asimilar residuos; *f)* se refiere a un grupo de personas o a una población determinada que tiene una forma de vida específica sobre su nivel de consumo y sus costumbres; *g)* este territorio ha de realizar estas funciones de forma indefinida en el tiempo.

La HE está relacionada con la biocapacidad, que es la capacidad productiva del territorio expresada en hectáreas globales per cápita. La HE es el territorio que se consume y la biocapacidad es el territorio del que se dispone. Cuando se definió la HE en 1996, los cálculos señalaron que a nivel mundial ya se había consumido más de un planeta Tierra (GFN, 2012); por tanto, la diferencia entre biocapacidad y HE era ya un número negativo. Por ese motivo, la diferencia entre estas dos magnitudes se definió como déficit ecológico (Figura 1).

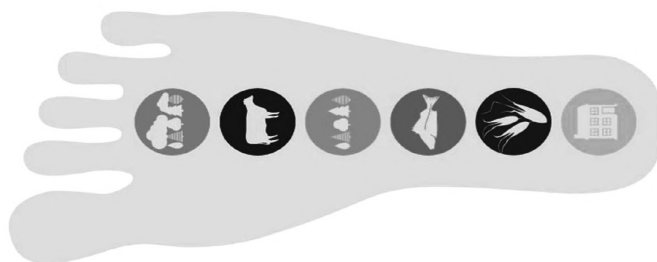
FIGURA 1
Definición de déficit ecológico



Fuente: elaboración propia con base en Hernández y López (2004).

Para calcular la huella ecológica (Chambers *et al.*, 2000) es necesario ver qué tipo de alimentación, vivienda, transporte, bienes de consumo y servicios está ocupando la población de la que se calcula su huella (Figura 2). La red Global Footprint Network (GFN) publica periódicamente guías para el cálculo de la huella ecológica (Kitzes *et al.*, 2010).

FIGURA 2
Componentes de la huella ecológica



Fuente: WWF (2012).

La huella ecológica es un indicador muy completo del impacto ambiental que generan las actividades de una población, por tanto es muy válida para evaluar el impacto de un sistema ecoindustrial. No existen aún huellas ecológicas calculadas para ecosistemas industriales pero en un futuro puede ser un indicador muy usado para comparar impactos de diferentes ecosistemas industriales.

Huella de carbono

Hay mucha confusión y disparidad entre la comunidad científica y la no científica en la definición y uso de este indicador (Wiedmann y Minx, 2008). La mayor parte de la comunidad científica y organismos especializados consideran la huella de carbono de un producto, proceso o territorio como la cuantificación de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en el ciclo de vida de este proceso, producto o territorio (Weidema *et al.*, 2008; Hammond, 2007). Pero otras entidades o autores sólo consideran los GEI, y no el ciclo de vida: “La huella

de carbono es la medida del impacto de todos los gases de efecto invernadero producidos por nuestras actividades (individuales, colectivas, eventuales y de los productos) en el medio ambiente” (Schneider y Samaniego, 2009), otros sólo consideran las emisiones de CO₂ o de pocos gases (Wright *et al.*, 2011) o ambas situaciones. Otras organizaciones consideran que todas las opciones son huella de carbono pero de diferente tipo: organizacional, de cadena de valor y de producto (Trust, 2012).

Esto comporta una gran disparidad en la manera de calcular esta huella. Para los que consideran el ciclo de vida, la manera de calcularla es a través de un análisis de ciclo de vida (ACV) o por un *Input-Output Analysis* (IO) (Hertwich y Peters, 2009). Para los que no consideran el ciclo de vida puede calcularse con la metodología del IPCC (2009) y del World Resource Institute (WBCSD y WRI, 2004) del cálculo de emisiones de gases de efecto invernadero.

La huella de carbono es una de las partes de la huella ecológica, pero la más importante, ya que suele suponer 50% de la huella ecológica. Por tanto es un indicador interesante para comparar procesos, productos o también el comportamiento de diversos ecosistemas industriales. Muchas empresas y entidades ya calcularon sus emisiones de GEI o su huella de carbono. En México existe el programa GEI México, (Semarnat y Cespedes, 2012) auspiciado por la Comisión de Estudios del Sector Privado para el Desarrollo Sustentable (Cespedes), que favorece a las empresas una metodología de cálculo y formación para calcular sus emisiones de GEI, con base en la metodología del WRI. No existen tampoco aún, como pasaba con la huella ecológica, sistemas ecoindustriales que hayan calculado su huella de carbono, para ser usada como indicador comparativo con otros ecosistemas industriales.

Huella hídrica

La huella hídrica (HH) de un individuo, comunidad o comercio se define como el volumen total de agua dulce que se utiliza para producir los bienes y servicios consumidos por el individuo o comunidad, así como los producidos por los comercios (Hoekstra y Chapagain, 2007). La HH se mide en términos de volumen de agua consumida (evaporada o que no retorna) y/o contaminada por unidad de

tiempo (Aldaya, 2012). Así, la huella hídrica es un indicador del agua usada, tanto directa como indirectamente, del consumidor y del productor (WFN, 2012a).

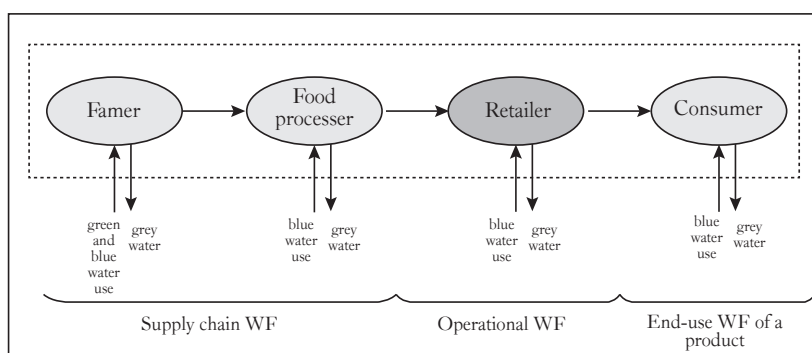
Cuando se habla de huella hídrica se consideran 3 tipos de aguas: agua azul, agua verde y agua gris. El agua azul es el agua superficial y subterránea. El agua verde es la que proviene de la lluvia o humedad del suelo. El agua gris es el agua contaminada calculada como volumen de agua necesaria para diluir los contaminantes a niveles en que el agua tenga una calidad aceptable.

Un concepto precursor de la huella hídrica fue el *agua virtual*. El agua virtual es la cantidad de agua que se emplea para producir bienes agrícolas o industriales.

La organización Water Footprint Network ha publicado la huella hídrica de diferentes países y trabaja para normalizar el cálculo de la huella hídrica. Puede ser calculada para un proceso, producto, consumidor, grupo de consumidores (e.g. municipio, provincia, estado o nación) o productor (e.g. un organismo público, empresa privada). En 2011 publicaron una guía para cálculo de huella hídrica (Hoekstra *et al.*, 2011).

DIAGRAMA 9

Huella hídrica para una empresa minorista



Fuente: WFN (2012b).

Las empresas pueden calcular su huella hídrica operacional o la huella hídrica de la cadena de suministros (Diagrama 9). Para el caso de la EI, la HH puede ser un indicador interesante que compare la huella de agua en sistemas industriales con la de sistemas ecoindustriales y para ver si el criterio de cierre

de ciclo, aplicado a sistemas ecoindustriales, redundando en una disminución de la huella hídrica.

Conclusiones

La EI puede utilizar muchas herramientas distintas, aunque las más adecuadas son aquellas que interrelacionan empresas o entidades del sistema industrial. El dinamismo propio de la EI provoca que cada vez se vayan aplicando nuevas herramientas y metodologías, tales como: estudio de sistemas complejos, metodología de redes sociales, estudio de escenarios, etcétera.

Bibliografía

- Aldaya, M. (2012), “Introducción a la evaluación de la huella hídrica”, ponencia presentada en el Seminario Internacional “Información estadística y geográfica para el mejor manejo del agua en México”, México, INEGI/UAM, 6-7 de marzo.
- Baas (2005), *Cleaner Production and industrial Ecology – Dynamic aspects of the introduction and dissemination of new concepts in industrial practice*, Delft, Holanda, Eburon Academic Publishers.
- Brunner, P.H. y Hwong-Wen Ma. (2009), “Substance Flow Analysis. An Indispensable Tool for Goal-Oriented Waste Management”, *Journal of Industrial Ecology*, vol. 13(1), pp. 11-14.
- Carbon Trust (2012), *Carbon footprinting. The next step to reducing your emissions*, Reino Unido [<http://www.carbontrust.com/resources/guides/carbon-footprinting-and-reporting/carbon-footprinting>].
- Carrillo, G., G. Cervantes, J. Figueroa y D. Lule (2011), “Factors favoring industrial ecology development in the industrial area Altamira-Tampico (México)”, Proceedings of the 6th International Conference on Industrial Ecology ISIE 2011 “Science, Systems and Sustainability”, Berkeley, CA, del 7 al 10 de junio.
- Cervantes, G. (2007), *Ecologia industrial*, Barcelona. Fundació Pi i Sunyer.
- , J. Arce y L. Mazza (2010), “Sustainability Indicators for Industrial Ecology: Industrial ecosystems assessment”, Proceedings of the ISIE Asia-Pacific Meeting & ISIE MFA-ConAccount Meeting, Tokyo, del 7 al 9 de noviembre.
- Chambers, N., C. Simmons y M. Wackernagel (2000), *Sharing Nature’s Interest. Ecological Footprints as a indicator of sustainability*, Reino Unido, Eartscan.

- Cleveland, C. y M. Ruth (1998), “Indicators of Dematerialization and the Materials Intensity of Use”, *Journal of Industrial Ecology*, vol. 2(3), pp. 15-50.
- Cunningham, B., N. Battersby, W. Wehrmeyer y C. Fothergill (2004), “A Sustainability Assessment of a Biolubricant”, *Journal of Industrial Ecology*, vol. 7(3-4), pp. 179-192.
- Dewulf, J. y H. Van Langenhove (2005), “Integrating industrial ecology principles into a set of environmental sustainability indicators for technology assessment”, *Resources, Conservation and Recycling*, núm. 43, pp. 419-432.
- ECOSIND project (2006), *ECOSIND guide of recommendations for the planning and management of industrial zones through industrial ecology*, Barcelona, Departament de Medi Ambient (Generalitat Catalunya).
- Eurostat (2001), *Economy-wide material flow accounts and derived indicators. A methodological guide*, Luxemburgo, Office for Official Publications of the European Communities.
- Eurostat (2012), *Economy-wide Material Flow Accounts (EW-MFA). Compilation Guide 2012*, Luxemburgo, Office for Official Publications of the European Communities.
- Giuliania, E. y M. Bella (2005), “The micro-determinants of meso-level learning and innovation: evidence from a Chilean wine cluster”, *Research Policy*, 34(1), pp. 47-68.
- Haberl, H., M. Fischer-Kowalski, F. Krausmann, H. Weisz y V. Winiwarter (2004), “Progress towards sustainability? What the conceptual framework of material and energy flow accounting (MEFA) can offer”, *Land use policy*, 21(3), pp. 199-213.
- Hammond, G. (2007), “Time to give due weight to the carbon footprint issue”, *Nature*, 445(7125), pp. 256-256.
- Hansen, E. y C. Lassen (2002), “Experience with the Use of Substance Flow Analysis in Denmark”, *Journal of Industrial Ecology*, vol. 6(3-4), pp. 201-219.
- Hernández, R. y S. Fernández (2010), “Bolsa de subproductos, una estrategia de ecología industrial. Innovación y ecología industrial”, *Memorias del Quinto Congreso Internacional Sistemas para la Innovación y la Competitividad*, SINNCO 2010, Celaya, del 25 al 27 de agosto.
- Hernández, E. y F. López (2004), “Cambio temporal en la huella ecológica de la región de Murcia y su uso como indicador de desertificación”, *Papeles de geografía*, 40, pp. 95-110.
- Hertwich, E. y G. Peters (2009), “Carbon Footprint of Nations: A Global, Trade-Linked Analysis”, *Environmental Science & Technology*, núm. 43, pp. 6414-6420.
- Hoekstra A. y A. Chapagain (2007), “Water footprints of nations: Water use by people as a function of their consumption pattern”, *Water Resource Manage*, núm. 21, pp. 35-48.

- Hoekstra, A., A. Chapagain, M. Aldaya y M. Mekonnen (2011), *The water footprint assessment manual: Setting the global standard*, Londres/Washington, Earthscan.
- IPCC (2009), *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*, Eggleston, H.S., L. Buendia, K. Miwa, T. Ngara y K. Tanabe (eds.), Hayama, Intergovernmental Panel on Climate Change, IGES.
- Johnson, J., J. Jirikowic, M. Bertram, D. van Beers, R.B. Gordon, K. Henderson, R.J. Klee, T. Lanzano, R. Lifset, L. Oetjen y T.E. Graedel (2005), “Contemporary Anthropogenic Silver Cycle: A Multilevel Analysis”, *Environmental Science & Technology*, núm. 39(12), pp. 4655-4665.
- Kitzes, J., A. Galli, A. Reed, S.M. Rizk, B. Ewing y M. Wackernagel (2010), *Guidebook to the National Footprint Accounts: Edition*, Oakland, Global Footprint Network.
- Kleijn, R. (2000), “Adding It All Up The Sense and Non-Sense of Bulk-MFA”, *Journal of Industrial Ecology*, vol. 4(2), pp. 7-8.
- Lule, D. y G. Cervantes (2011), “La sinergia de subproductos en el corredor industrial de Altamira-Tampico, una herramienta para la ecología industrial”, ponencia presentada en el Sexto Congreso Internacional de Sistemas de Innovación para la Competitividad (SINNCO), León, México.
- Lule, D. (2012), “Identificación de oportunidades de simbiosis industrial en el corredor industrial Altamira-Tampico”, tesis de licenciatura, México, Instituto Politécnico Nacional.
- Schneider, H. y J. Samaniego (2009), *La huella del carbono en la producción, distribución y consumo de bienes y servicios*, Santiago de Chile, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).
- Steuere A. y H. Schütz (2000), *Economy-wide Material Flow Accounts and Balances with derived Resource Use Indicator; a Methodological Guide*, Brussels, Eurostat.
- Tiejun, D. (2010), “Two quantitative indices for the planning and evaluation of eco-industrial parks”, *Resources, Conservation and Recycling*, núm. 54, pp. 442-448.
- Tyteca, D. (1998), “Sustainability Indicators at the Firm Level”, *Journal of Industrial Ecology*, vol. 2(4), pp. 61-77.
- Wackernagel, M. y W. Rees (1996), *Our Ecological Footprint: Reducing Human Impact on the Earth*, Isla Gabriola, Canada, New Society.
- Weidema, B., M. Thrane, P. Christensen, J. Schmidt y S. Løkke (2008), “Carbon Footprint. A Catalyst for Life Cycle Assessment?”, *Journal of Industrial Ecology*, 12(1), pp. 3-6.
- Wiedmann, T. y J. Minx (2008), “A Definition of ‘Carbon Footprint’”, en C.C. Pertsova, *Ecological Economics Research Trends*, Chapter 1, Hauppauge Nueva York, Nova Science Publishers, pp. 1-11.

- World Business Council for Sustainable Development (WBCSD) & World Resources Institute (WRI) (2004), *The Greenhouse Gas Protocol. A Corporate Accounting and Reporting Standard*, Revised Edition, WBCSD & WRI.
- Wright, L.A., S. Kemp e I. Williams (2011), “Carbon footprinting: towards a universally accepted definition”, *Carbon Management*, vol. 2(1), pp. 61-72.
- WWF’s (2012), *Living Planet Report 2012. Biodiversity, biocapacity and better choices*, Gland, Suiza, WWF’s.
- Zvolinschi, A., S. Kjelstrup, O. Bolland y H. van der Kooi (2007), “Exergy Sustainability Indicators as a Tool in Industrial Ecology”, *Journal of Industrial Ecology*, 11(4), pp. 85-98.

Páginas electrónicas

- Center for Sustainable Development (UN-CSD) [http://www.un.org/esa/dsd/dsd_aofw_ind/ind_index.shtml], fecha de consulta: 8 de mayo de 2012.
- Centro Mexicano para la Producción más Limpia (CMPML) [<http://www.cmpl.ipn.mx>], fecha de consulta: 30 de octubre de 2012.
- Global Footprint Network (GFN) [<http://www.footprintnetwork.org/en/index.php/GFN/>], fecha de consulta: día 30 octubre 2012.
- Grupo de Investigación en Ecología Industrial (GIEI) [<http://gieiupibi.wordpress.com>], fecha de consulta: día 30 de octubre de 2012.
- International Center for Numerical Methods in Engineering, MESVAL Proyecto [<http://www.cimne.com/mesval/>], fecha de consulta: 7 de diciembre de 2010.
- International Society for Industrial Ecology (ISEI), Socio-economic Metabolism Section [<http://www.is4ie.org/topicalsections#MFA>], fecha de consulta: 30 de octubre de 2012.
- Portal de Sostenibilidad (UPC) [<http://portalsostenibilidad.upc.edu/>], fecha de consulta: 8 de mayo de 2012.
- Semarnat/Cespedes, Programa GEI México [<http://www.geimexico.org/>], fecha de consulta: 30 de octubre de 2012.
- Tiejun, D. (2010), “Two quantitative indices for the planning and evaluation of eco-industrial parks”, *Resources, Conservation and Recycling*, núm. 54, pp. 442-448.
- United Nations Industrial Development Organization (UNIDO), Cleaner and Sustainable Production Unit [<http://www.unido.org/index.php?id=o4460>], fecha de consulta: 30 de octubre de 2012.

Water Footprint Network (WFN) [<http://www.waterfootprint.org/?page=files/home>],
fecha de consulta: 30 de octubre de 2012a.

Water Footprint Network [[http://www.waterfootprint.org/?page=files/Corporate
WaterFootprintAccountingFramework](http://www.waterfootprint.org/?page=files/CorporateWaterFootprintAccountingFramework)], fecha de consulta: 30 de octubre de
2012b.

CAPÍTULO IV

El análisis de ciclo de vida

Mario Giraldi Díaz

El uso del concepto de metabolismo industrial, utilizado en la ecología industrial para referirse al conjunto de procesos que transforman las materias primas y la energía, más la mano de obra en productos terminados y la generación de residuos (Van Berkel, 2006), permite explorar cuán importante es la eficiencia de los ciclos productivos a la hora de interactuar con los correspondientes ciclos biogeoquímicos, y los disturbios que ello puede ocasionar en los ecosistemas naturales y en la propia sociedad.

En el ámbito de la ecología industrial se han concebido conceptos y herramientas como la producción más limpia, ecoeficiencia/ecodiseño, los denominados mecanismos de desarrollo limpio y el comercio de emisiones en el campo de las emisiones de gases de efecto invernadero. Todas ellas susceptibles de una mejora continua y con mayor permeabilidad en el entorno industrial, sobre todo en medianas y pequeñas empresas. En este orden de ideas, la utilización de la herramienta del análisis de ciclo de vida (ACV) se asocia básicamente a tres conceptos integrados a la ecología industrial: *i*) el análisis de flujo de materiales y sus sinergias; *ii*) la valorización energética, y *iii*) la gestión de residuos.

El ACV es una herramienta de decisión que puede proporcionar una evaluación tan exhaustiva como se quiera de los procesos que llevan a la consecución de un producto o servicio, a través de sus flujos de materiales. Del análisis se identifican la intensidad de uso de materiales y energía en cada etapa de producción, con lo cual se pueden optimizar procesos y disminuir los consumos de materiales. De igual forma se focaliza la ubicación de los impactos más significativos. Estos conceptos se afianzan en los apartados subsiguientes. Concretamente el ACV es

una herramienta que se centran primordialmente en transformar una serie de entradas y salidas de un sistema productivo en impactos ambientales, teniendo como interfaz un exhaustivo inventario de ciclo de vida (ICV), que le confiere trazabilidad y certeza al resultado.

Antecedentes

El análisis de ciclo de vida tiene sus inicios en la década de 1960, cuando Harold Smith realizó en 1963 cálculos sobre requerimientos energéticos de productos químicos. Fue así que en sus prístinos orígenes, el ACV estuvo relacionado más bien al consumo de energía por parte de las industrias, acrecentado por la crisis del petróleo de esa década, lo cual requirió esfuerzos para mejorar los abastecimientos primarios de combustibles fósiles. Otras, también en aquellos años, comenzaron a tener interés por optimizar sus procesos y manejo de recursos desembocando en estudios de rastreo de materiales y flujos de energía (Sonnemann *et al.*, 2004).

Un importante empuje fueron los esfuerzos gubernamentales por realizar el control y seguimiento de los residuos peligrosos. Fue así que se creó el denominado análisis de recursos y perfil ambiental (REPA, por sus siglas en inglés, *Resource and Environmental Profile Analysis*) en Estados Unidos como herramienta para la cuantificación de recursos en los procesos, cuyo símil en Europa fue posteriormente el *Ecobalance* (Fava *et al.*, 1993). Su evolución precisamente en este continente se dió con la publicación de la directiva DG X1 (emitida en 1985) que estipulaba el monitoreo por parte de las empresas del consumo de materiales y energía en los recipientes para alimentos líquidos.

No obstante, el impulso en la aplicación y sustento práctico del ACV emanó de la Sociedad para la Química y Toxicología Ambiental (SETAC), creada en Estados Unidos en 1979, la cual estableció los criterios y bases científicas iniciales de aquél en 1990. Posteriormente, en 1993, el Organismo de Estandarización Internacional (ISO) implementó un comité que trabajó sobre normativas en el campo del ACV para su estandarización en el ámbito de aplicación internacional. Aunque inicialmente la SETAC tuvo la función de proporcionar un rigor y desarrollo académico en la creación del ACV, el ISO se ha involucrado en la organización y homogeneidad del método (Udo de Haes, 2002). En años recientes, el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP)

inició una estrecha colaboración con SETAC, desempeñando una labor que implica el uso global del análisis de ciclo de vida.

Los trabajos del ISO culminaron con la publicación en 1997 del ISO 14040, que estableció los lineamientos y componentes que debe contener el ACV, y las condiciones de sus excepciones. Se han realizado en recientes años revisiones resultando en actualizaciones de la misma, en la actualidad se tienen dos normativas ISO del análisis de ciclo de vida:

- ISO 14040:2006. Establece los principios y marco de referencia para la evaluación del ACV. Que incluye: *i*) la definición del objetivo y ámbito de su aplicación; *ii*) el análisis de inventario de ciclo de vida (AICV); *iii*) la evaluación del impacto del ciclo de vida (EICV); *iv*) la fase de interpretación del ciclo de vida, presentación de informes, y *v*) la revisión crítica del ACV, y sus limitaciones.
- ISO 14044:2006. Especifica los requisitos y proporciona directrices para la evaluación del ciclo de vida, incluyendo los todos las fases en la norma previa (14040), realizando un análisis exhaustivo de los requisitos del ACV y mayor información respecto al inventario de ciclo de vida.

Se tienen dos normativas complementarias, ISO/TR 14047:2003 y 14049:2000, las cuales describen ejemplos de aplicación de las dos normas precedentes.

Conceptualización

Cada producto tiene una “vida” iniciada con el diseño y desarrollo del producto, seguido por la extracción de recursos, producción de materiales y su manufactura para la transformación del producto deseado, uso y consumo de él, y finalmente los procesos que involucran su gestión como residuo (Rebitzer *et al.*, 2004). Cada una de estas etapas y las unidades que los componen son causantes de impactos ambientales debido a agotamiento de recursos, por emisiones de variadas sustancias y cualquier fenómeno que modifique el entorno (ruido, radiación, calor, entre otros).

Con esta premisa, desde el punto de vista metodológico, el ciclo de vida se define como las “etapas consecutivas e interrelacionadas del sistema del producto

desde la adquisición de materias primas o generación de recursos naturales hasta su eliminación final” (ISO 14040). De esta forma, el ACV comprende la compilación y evaluación de las entradas y salidas, así como los impactos ambientales potenciales, asociados a aquellas a través de su ciclo de vida. Del vínculo entre los procesos y los impactos ambientales se encuentran diferentes correlaciones que han sido desarrolladas para determinar cómo una salida genera una repercusión en el ambiente y cuantificarlo para su análisis. De ello se puede interpretar que los principales fines para realizar un ACV se tienen:

- Reducción de los impactos ambientales de un producto, proceso o servicio desde el punto de vista: *i*) energético, *ii*) materias primas, *iii*) emisiones.
- Puesta en marcha de procedimientos para obtener mejoras en el sistema, o en su caso comparar variantes de manufactura de un producto determinado.
- Contrastar dos productos ya sean innovaciones ambos o entre uno existente y otro en desarrollo para la toma de decisiones.

Aunque la utilidad del ACV se puede apreciar claramente, su aplicación se fundamenta en la *metodología del fondo hacia arriba (bottom-up methodology)*. Lo que implica que intenta crear una estructura de recopilación de datos y análisis de los diferentes procesos desde unidades básicas creando el entramado hasta el producto final, potenciando el resultando en un sistema robusto que difícilmente puede ser cumplimentado en su totalidad, sólo parcialmente a expensas de una simplificación de los componentes del ciclo. Esto suele ser una de las principales limitantes a la hora de ejecutar un análisis de ciclo de vida.

Los ACV son típicamente propuestas consideradas en estado estacionario, más que un enfoque dinámico. Debido principalmente a que el tiempo y el espacio son condiciones invariantes en el análisis. Estas restricciones (o flexibilidades) añaden que los impactos no sean focalizados, por tanto frecuentemente se hace la descripción de “impactos potenciales”, lo cual le separa claramente de un análisis de riesgo o evaluación de impacto ambiental (Guineé *et al.*, 2002). Otra limitante es que el ACV se caracteriza por comportarse como un modelo lineal, lo que en ocasiones le produce resultados erróneos, como lo es en el ámbito de la toxicidad. Como consecuencia suele decirse que al presentarse un ACV no se puede decir que “el estudio de ACV ha demostrado que su decisión debe ser...”.

sino más bien, “con base en un estudio de ACV y otras evidencias, la siguiente decisión ha sido...”.

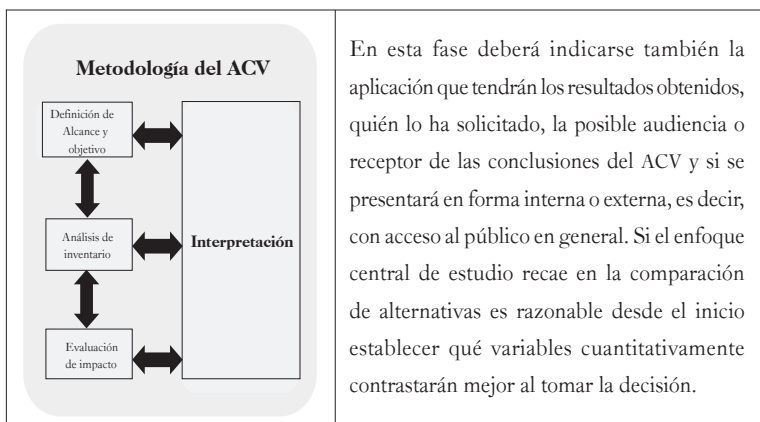
Planteamiento y requerimientos

La metodología de un ACV consta de: *a)* definición de alcance y objetivo, *b)* análisis de inventario, *c)* evaluación del impacto, y *d)* interpretación. Estando todas en constante retroalimentación y redefinición conforme el estudio progresa y se tiene mayor conocimiento del sistema, esta interpretación se puede apreciar en el Diagrama 1.

Se recomienda realizar un análisis preliminar (*screening*) del sistema del producto con la finalidad de consolidar el motivo inicial del estudio. Oportunamente se podrá determinar si el ACV es la herramienta adecuada a las necesidades requeridas o si será complementaria junto con otros medios. En su fase inicial se debe establecer para qué se pretende realizar el ACV, esto se clarifica al puntualizar los objetivos del estudio. Se describen los objetivos generales, y cuando sea necesario también los objetivos específicos que complementen a los primeros.

DIAGRAMA 1

Fases de un análisis de ciclo de vida



Fuente: ISO 14040 (2006).

Es importante señalar que la normativa ISO marca restricciones cuando el informe de resultados será de interés público, lo cual es conveniente tomar en cuenta desde la fase inicial. El alcance establece los principales atributos que serán la pauta en la elaboración del ACV, tales como temporalidad, ubicación geográfica y la tecnología incluida en el análisis. Estos alcances tienen que ser compatibles con los objetivos establecidos y con los recursos económicos, técnicos y humanos con los que se cuentan.

Cabe señalar que, de acuerdo con los objetivos y alcances, se pueden tener dos perspectivas de estudios:

- *ACV atribucional*, intenta responder cómo suceden los eventos (debido a emisiones, materias primas, o consumos energéticos entre procesos) dentro del estado temporal seleccionado.
- *ACV consecuencial*, en este caso es aquel que intenta responder cómo determinados flujos, más allá del sistema inmediato, cambiarán en respuesta a ciertas actuaciones.

Una vez establecidos los objetivos y alcances, se deben definir ciertos criterios cruciales en el desarrollo del ACV, aunque siempre teniendo presente que la retroalimentación del sistema es permanente. Así, cualquier componente del estudio puede ser modificado, mientras el analista considere que no se insatisface el interés inicial del estudio. Dos conceptos deben ahora introducirse:

1. *Las funciones del sistema estudiado*, que identifique las funciones a ser analizadas en términos del propósito de uso final del sistema del producto.
2. *La unidad funcional*, que describe cualquier atributo que pueda ser cuantificado de un sistema del producto para su uso como unidad de referencia. Cuando aquél no lo defina *a priori*, será necesario definir un flujo de referencia que sea el eslabón cuantificable entre el producto y la unidad funcional.

Es necesario que en este punto el ejecutor del estudio se pregunte si *¿el análisis necesita cubrir la totalidad del ciclo de vida del producto?* La respuesta depende básicamente de los antecedentes que se tienen ya sea del propio sistema o de similares desde la literatura como para discurrir los efectos a la hora de sesgar el sistema, lo cual va estrechamente vinculado con los objetivos planteados. Por

ejemplo, por más simplificación de un sistema que se deseé, si sabemos que un proceso ocasiona cargas ambientales considerables, entonces soslayarlo incurrirá en resultados erróneos.

Rigurosamente se deberán contabilizar todas las entradas y sus repercusiones desde que son sustraídas del ambiente y finalizar el análisis hasta que todas las salidas posibles del sistema no tengan una subsecuente transformación antropogénica y se reintegren al ambiente. Una labor difícilmente ejecutable, por tanto el análisis preliminar citado será de utilidad en esta fase para excluir procesos.

Inicialmente en muchos estudios de ciclo de vida no se consideran los bienes de capital, esto resulta apropiado para simplificar el sistema. No obstante, se debe proceder con cautela ya que, dependiendo del proceso, los bienes de capital pueden ser necesarios en la cuantificación final por su aportación considerable de cargas ambientales en función del producto analizado, como lo son la energía nuclear, renovables y aquellas que derivan del tratamiento de residuos, entre otras (Frischknecht *et al.*, 2007). En este orden de ideas se pueden distinguir tres tipos de fronteras que modifican o acotan el sistema en estudio:

- Frontera en el sistema del producto y el ambiente; aquel que incluye todas las fases, se le suele denominar análisis de la “cuna a la tumba” (*cradle to grave*).
- Frontera entre procesos que son relevantes y aquellos que pueden considerarse colaterales y por tanto irrelevantes para el estudio; a tal función se le conoce como “criterio de corte” (*cut-off*). En este caso se pueden tener dos tipos de acotamiento: *i*) análisis de la “cuna a la puerta” (*cradle to gate*), refiriéndose a que el estudio se concluirá cuando el producto o servicio se encuentre preparado para su uso; y *ii*) el análisis de “puerta a puerta” (*gate to gate*), que inicia cuando las materias primas están listas para entrar en el proceso que culmina con el producto terminado.
- Frontera entre el sistema del producto en estudio y otro producto que bajo ciertas circunstancias están relacionados; un procedimiento designado como “asignación por extensión”, que considera válido evaluar un sistema fuera del producto inicial.

Las fronteras del sistema se pueden circunscribir tanto como se considere necesario dependiendo de la inercia entre la información de primera mano que se posea, de los recursos humanos y económicos con que se cuente, y de los objetivos

planteados. Teniendo presente en todo momento que los criterios para tales decisiones deben justificarse y en su caso indicarse las posibles repercusiones.

Una vez establecidos los límites del sistema, se determinan los criterios para la calidad de los datos. Estos criterios estarán estrechamente relacionados con el destinatario final del estudio, cuando sea para el conocimiento público las directrices para la recolección de información deben estar descritas con detalle y rigor en el análisis del inventario. Cuando el informe final sea para manejo interno, es posible permitir estimaciones y juicios de valor siempre que estén justificados y sustentados en el estudio. Los requerimientos estipulados en un ACV son:

- Periodo dentro del cual estarán incluidos los datos de inventario, y dado el caso también señalar la frecuencia temporal de la información (p.ej. anual o mensual).
- Medio geográfico establecido para el origen de los datos recolectados, ya sea local, regional, nacional, continental o incluso global.
- Tecnología utilizada en el estudio actual, lo cual puede implicar un promedio de la existente dentro del periodo del análisis, o por el contrario dentro del planteamiento de origen se pretende evaluar las mejores tecnologías existentes, las experimentales o incluso por ejercicio académico.
- Otros aspectos relevantes son: el origen de las bases de datos utilizadas y su representatividad, así como la consistencia y reproducibilidad de los métodos y modelos usados en el análisis de ciclo de vida.

Previo al ICV se debe señalar si en el estudio se aplicarán “asignaciones de carga”, definidos en la normativa como la *distribución de los flujos de entrada o de salida de un proceso o un sistema del producto entre el sistema del producto bajo estudio y uno o más sistemas del producto diferentes*. En los procesos industriales generalmente se tiene más de una entrada al sistema, las cuales pueden originar flujos de materia y energía intermedios, muchas de ellas no continúan en el sistema del producto de interés, no obstante, intrínsecamente llevan parte de los flujos de entrada y les corresponde, proporcionalmente, emisiones del sistema que no deben ser cuantificadas con el flujo principal, máxime si estos flujos intermedios son el eslabón para otros procesos y/o productos fuera del interés del ACV actual.

De esta forma, la primera opción para determinar la correspondencia de cada flujo es la división de los procesos en subprocesos de modo que se tenga

como resultado un único flujo saliente. Si ésta no fuese posible realizar, se evalúa expandir las fronteras del sistema para relacionar aquellos flujos de coproductos con un sistema alternativo que cumpla la misma función. Con ello se determina indirectamente flujos equivalentes únicos para el coproducto del sistema de estudio.

En caso de que esta última opción tampoco sea viable, entonces se procede a efectuar la asignación de cargas bajo un análisis para seleccionar el atributo adecuado a los objetivos, pero sobre todo que tenga relación estrecha con la unidad funcional. La normativa establece separar las entradas y salidas del sistema entre sus diferentes productos o funciones de tal forma que reflejen las relaciones físicas existentes entre ellos. Cuando la relación física por sí misma no pueda establecerse o utilizarse como base de la asignación, se elige alguna propiedad que refleje otras relaciones entre ellos, por ejemplo el valor económico de los productos. Cualquier causalidad que se considere apropiada para efectos de asignación se debe justificar y detallar.

Dentro del interés para con el ACV reflejado en los objetivos se debe decidir qué categorías de impacto serán evaluadas, y que puedan ser acotadas tanto como se desee, ya que su justificación estará incluida, sin salvedad. Existen diferentes categorías de impacto ambiental para satisfacer la gama de necesidades establecidas en el estudio. En el Cuadro 1 se puede apreciar una muestra de ellas y su alcance, en un apartado posterior se comentan otros aspectos relevantes sobre la evaluación de impacto ambiental.

Uno de los aspectos que promueven el aseguramiento de la calidad del estudio es la revisión crítica del ACV. El ejecutor de tal revisión puede ser acordado entre las partes interesadas, ya sea conformada por un panel interno dentro de la propia empresa, por ejemplo, o si el ACV es para comparación de productos o será del dominio público, entonces es aconsejable que un panel externo lo elabore. En la revisión crítica se deben verificar entre otros: *i*) validación del método utilizado respecto a la normativa correspondiente, *ii*) los datos del ICV cumplimentan los objetivos planteados, y *iii*) las limitaciones identificadas son claramente interpretadas dentro del estudio.

Finalmente se incluyen los requisitos que deberá tener el informe final del estudio, añadiendo además aspecto del formato del informe, el manejo de la base de datos del ICV, por ejemplo si se integra como anexos, así como la extensión del mismo.

CUADRO 1

Muestra de categorías de impactos dentro de un análisis de ciclo de vida

Categorías de impacto	Alcance espacial
A. Relacionadas con entradas	
1. Recursos abióticos	global
2. Recursos bióticos	global
3. Suelo	local
B. Relacionadas con salidas	
4. Calentamiento global	global
5. Agotamiento del ozono estratosférico	global
6. Impactos toxicológicos con humanos	global/continental/regional/local
7. Impactos ecotoxicológicos	global/continental/regional/local
8. Formación de foto-oxidantes	continental/regional/local
9. Acidificación	continental/regional/local
10. Eutrofización	continental/regional/local
11. Olor	local
12. Ruido	local
13. Radiación	regional/local
14. Accidentes	local

Fuente: elaboración propia.

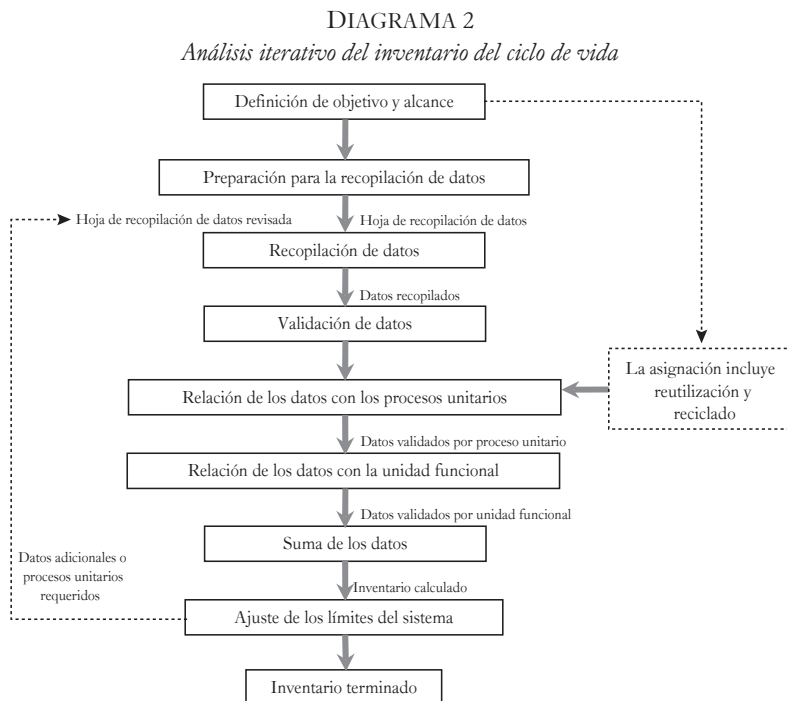
Inventario del ciclo de vida

En esta fase se hace una recopilación de las entradas y salidas del sistema del producto durante las etapas del ciclo de vida consideradas. Se cuantifica dentro de cada proceso los requerimientos energéticos y de materias primas, las emisiones, efluentes, residuos sólidos y cualquier otra resultante. Generalmente en el ICV se consume bastante tiempo, quizá más que en cualquier otra fase del estudio, ya que la calidad y su manejo está estrechamente vinculado con la veracidad del resultado final. Además, el efecto de cualquier incongruencia en su recolección y organización gesta “un bucle en cascada” que arrastra el error distorsionando resultados subsecuentes. La ejecución de un ICV implica:

- Un desarrollo previo de diagramas de flujo, tan detallados como se especifique en los alcances planteados. Para una mejor organización se recomienda, la división en subsistemas, y los inventarios de cada “caja negra” se deben realizar bajo las mismas pautas para asegurar la homogeneidad del inventario del ciclo de vida.

- Plan de recolección de datos, se justifica ya que evita la improvisación reiterativa en su ejecución. Se incluye la proposición de metas de calidad de los datos como pueden ser la precisión, representatividad o repetitividad. Se identifican bases de datos disponibles y se elaboran hojas de recolección de datos, útiles cuando se va a la empresa para recabar la información.
- Una vez recogida la información se organiza, se realizan los balances de materia y energía necesarios y en este punto se lleva a cabo el proceso de asignación de los flujos que lo requieran.

La construcción el ICV es un proceso recurrente, lo que permite ajustarlo cuantas veces sea necesario hasta concluirlo satisfactoriamente. Los datos deberán estar vinculados a la unidad funcional previamente a su validación y proceder entonces al sumado de las variables comunes, este procedimiento se describe en el Diagrama 2.

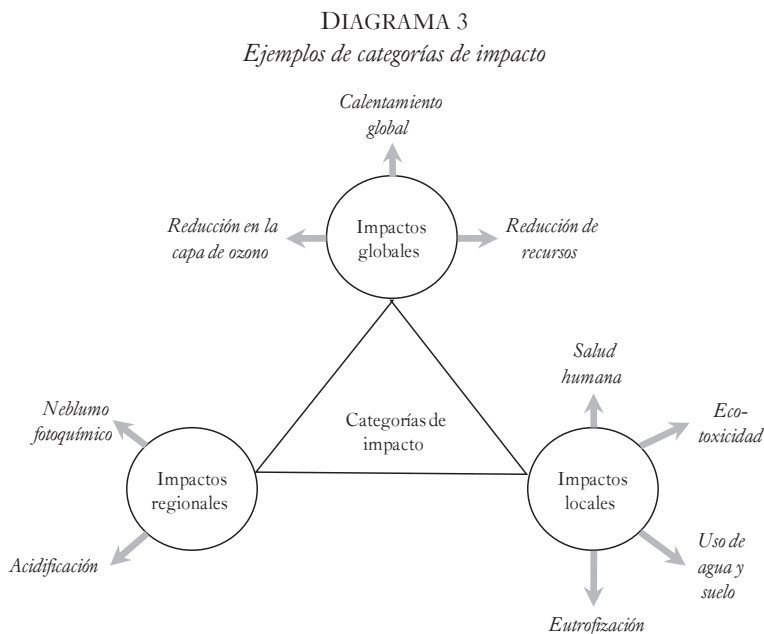


Fuente: ISO 14044 (2006).

Evaluación de impacto del ciclo de vida (EICV)

Esta fase, como lo establece la normativa, está dirigida a conocer y evaluar la magnitud y significancia de los impactos ambientales de un sistema del producto a lo largo de ciclo de vida.

En este caso se define una lista de categorías de impacto que bajo la propuesta de modelos se relacionan con diferentes sustancias (o energía radiante, ruido, etcétera) que proyectan un potencial efecto sobre el ecosistema, la salud humana y/o ambiente antropogénico. Una vez que se tienen identificadas las categorías de impacto de interés, se hace el agregado respectivo con cada parámetro obtenido en el ICV, a esta actividad se le denomina clasificación (Diagrama 3).



Las categorías de impacto también se clasifican como: *i*) básicas, como lo son el cambio climático, toxicidad humana, eco-toxicidad, agotamiento de recursos, entre otras; *ii*) específicas, tales como: pérdida de biodiversidad u olores; y

iii) alternativas o propuestas emergentes, por ejemplo desecación de suelos. A continuación se explican brevemente los fundamentos de algunas categorías de impacto encontrados en estudios de ACV (Bare *et al.*, 2003; Guinée *et al.*, 2002; Pennington *et al.*, 2004; Hischier *et al.*, 2010):

Calentamiento global. Es el impacto ambiental que se relaciona con las emisiones de GEI, y que también está comúnmente referido con el cambio climático. La importancia de los GEI radica en su característica molecular de absorber la radiación infrarroja emitida por la superficie de la Tierra y los propios gases de la atmósfera reteniendo el calor dentro de la tropósfera. Esta radiación se encuentra en equilibrio térmico con la radiación solar entrante. Si se produce un incremento en la concentración de los GEI produce un cambio en la opacidad infrarroja de la atmósfera causando un desequilibrio que se compensa con un aumento de temperatura en la misma tropósfera, a esto se le denomina forzamiento radiativo.

Este parámetro se considera como la categoría de impacto principal para el actual ACV, cuantificado en $[W m^{-2}]$, cuya variable de impacto ambiental de efecto intermedio (*mid-point*) es el conocido *potencial de calentamiento global* (PCG), definido por la UNFCCC (2004) como:

[...] índice basado en las propiedades radiativas de una mezcla homogénea de GEI, que mide el forzamiento radiativo producido por una unidad de masa de un GEI homogéneamente mezclado en la atmósfera e integrado a lo largo de un determinado horizonte temporal, respecto a aquel ejercido por el dióxido de carbono.

Aunque se han realizado diferentes estudios encaminados a evaluar y también a señalar su carencia y posibles daños en el receptor final (Bare *et al.*, 2000; Jolliet *et al.*, 2004; Norris, 2006; Reap *et al.*, 2008), llámese flora, fauna o población humana, no existe un único criterio, por la dificultad para valorar daños finales.

En este sentido, Schryver *et al.* (2008) proponen una ruta para pasar de fuerza radiativa a impactos ambientales tales como: DALYS y PDF. El primero se refiere al valor actual de los futuros años de vida libres de incapacidad, que se pierden o se ganan a causa de muerte prematura o de incapacidad en un año

determinado. Mientras que PDF denota la fracción potencial de desaparición sobre el tiempo y el espacio de varios grupos de especies en un ecosistema. Se proponen valores de 1×10^6 a 3×10^7 DALYs anuales, y de 0.06 a 0.19 PDF por cada °C de cambio en cada caso.

Agotamiento del ozono estratosférico. Se refiere a la pérdida de la capacidad de absorción de rayos ultravioleta (UV) consecuencia de la destrucción de la capa de ozono en la estratósfera. Se reduce la absorción de la radiación de rayos UV por debajo de la longitud de onda de 300 nm, lo cual permite que alcancen la superficie terrestre. La unidad de referencia, denominada ODP (*ozone depleting capacity*), expresa la capacidad de agotar la capa de ozono de los clorofluorocarbonos (CFC), los hidroclorofluorocarbonos (HCFC) y halones en relación con la sustancia de referencia de CFC-11, que implica la capacidad de liberar radicales de cloro y bromo en la estratosfera que interfieren en la formación de ozono.

Eutrofización acuática. Se origina por el enriquecimiento de nutrientes en los ambientes acuáticos. En condiciones naturales, el suministro de nutrientes al agua está en equilibrio con el crecimiento de la biomasa. Sin embargo, los vertidos antropogénicos de nutrientes pueden alterar este equilibrio, dando lugar a un aumento en el crecimiento de algas que incrementan la turbidez del agua y disminuyen el nivel de contenido de oxígeno. Los factores de caracterización generalmente se basan en la proporción relativa del fósforo (P) y nitrógeno (N) en los nutrientes que componen el fitoplancton ($C / N / P = 106:16:1$, el ratio de *Redfield*). También la demanda de oxígeno asociada con la degradación de materia orgánica se relaciona a menudo con la eutrofización en el análisis de ciclo de vida.

Eutrofización terrestre. Está asociada con el enriquecimiento de nutrientes de los suelos. El crecimiento de las plantas es comúnmente controlado por la disponibilidad limitada de nitrógeno (el fósforo rara vez limita el crecimiento de plantas en los ecosistemas terrestres). Cualquier desequilibrio de estos nutrientes altera la tolerancia de los ecosistemas hacia la enfermedad, la sequía, las heladas y los herbívoros que dependen de ellos. La dependencia de condiciones espaciales de los propios ecosistemas y diferencias en la composición de los suelos suele

dificultar un único modelo de caracterización de impacto. Se tienen propuestas, como los factores desarrollados a partir de las contribuciones empíricas que estiman la capacidad de crecimiento de la madera y la extinción de especies que se atribuyeron a la eutrofización terrestre (favoreciendo especies adaptadas de nitrógeno).

Acidificación. Se refiere a un aumento de la acidez, establecida como la concentración de iones hidrógeno, en los sistemas de agua y el suelo. Los ACV han adoptado el número de iones de hidrógeno que son teóricamente formados por unidad de masa de una sustancia química como base para la caracterización. Los factores de caracterización se expresan en términos de equivalentes de dióxido de azufre. Este enfoque ha sido criticado por su carácter simplista de los impactos ambientales causados por este fenómeno, debido a que descarta las diferencias relacionadas con la ubicación de la fuente, las consecuencias que tiene el transporte atmosférico y la sensibilidad relativa a la recepción de los entornos afectados.

Toxicidad humana. Un efecto tóxico es una alteración de la estructura o función, de una especie, los seres humanos en este caso, como resultado de la exposición a una sustancia química. Los factores pueden ser interpretados en términos de equivalentes de riesgo basados en modelos empíricos con datos históricos de exposición en diferentes casos reales. Por ejemplo, los indicadores suelen ser presentados en términos de “equivalentes kg de benceno” para el caso de efectos relacionados al cáncer; lo que refleja la relación entre el riesgo de una emisión de la unidad (kg/h) de una sustancia química en proporción a la del benceno. Se tienen también nuevas propuestas que intentan desarrollar efectos finales de un entorno, evaluado el resultado en DALYs que pueden ser comparados directamente con otras categorías de impacto que han realizado esfuerzos similares.

Ecotoxicidad. Se relaciona con una alteración de la estructura o función, de una especie como resultado de la exposición a una sustancia química. Los factores de caracterización se encuentran más desarrollados para las especies acuáticas, y éstos en relación con la exposición crónica, extrapolándolos para estimar la exposición aguda. El potencial de toxicidad ecológica (ETP) ha sido desarrollado como una medida cuantitativa que expresa el daño potencial ecológico de una

cantidad unitaria de sustancias químicas liberadas en un entorno de evaluación. El ETP está diseñado para capturar los efectos directos de emisiones (o vertidos) de productos químicos procedentes de sistemas industriales en la salud de las especies vegetales y animales.

Oxidantes fotoquímicos. Se considera a la mezcla de ozono y de productos intermedios de reacción, tales como: el nitrato de peroxiacetilo, que se forman en la atmósfera inferior bajo la influencia de la radiación solar en los rangos del espectro visible y cercano al ultravioleta. Las tasas de formación de ozono en la troposfera se rigen por reacciones químicas complejas, que están influenciados por las concentraciones de nitrógeno, óxidos de nitrógeno (NOx) y compuestos orgánicos volátiles (COVs). Más de cien de éstos se conoce que son emitidos a la atmósfera, y ejercen influencia diferenciada en la formación de oxidantes fotoquímicos. El parámetro establecido como factor de caracterización se denomina potencial de formación de ozono fotoquímico (POCP), el cual puede tener como unidad de referencia el equivalente a un kg de etileno.

Recursos abióticos. Se define como la disminución en la disponibilidad de recursos naturales, aunque también se incluyen aquellos de índole renovable, tradicionalmente se refiere sólo a los recursos considerados no renovables. Anteriormente se calculaba utilizando el ratio entre el material usado y la cantidad total de reserva de dicho material. En muchos estudios se emplea el denominado factor de agotamiento de recursos (ADF), cuyas unidades se expresan en relación al equivalente de la cantidad de reservas disponibles de antimonio (kg Sb). Ahora existen conceptos que intentan incluir la sostenibilidad en el uso de los recursos, empleando la conceptualización de que la humanidad siempre tenderá a extraer los mejores recursos, en primer lugar, dejando los recursos de menor calidad para una futura extracción (Van Oers *et al.*, 2002; Steen, 2006). Por tanto, el agotamiento de los recursos será experimentado por las generaciones futuras, ya que tendrán que utilizar un mayor esfuerzo para extraer los recursos restantes. Este esfuerzo adicional se expresa como “un mayor abastecimiento de energía” (las unidades se expresan en MJ).

Uso de suelo. Muchos métodos para abordar el uso del suelo se han propuesto desde 1992. Actualmente se tienen dos caracterizaciones de impacto: *i*) la ocupación

del suelo, definido como el uso continuo para un mismo proceso, en unidades de superficie multiplicada por el tiempo [$m^2.a$], y *ii*) la transformación del suelo, que implica el cambio neto de un uso de suelo a otro tipo, o cambiar su calidad, expresado en unidades de superficie [m^2]. La ocupación y la transformación se relacionan con diferentes efectos, aunque no hay un consenso sobre la mejor forma de evaluar esta categoría de impacto (Schmidt, 2008). Ocupación se relaciona en términos de la presión sobre los ecosistemas circundantes, mientras que la transformación conduce a impactos netos positivos o negativos, con base en el uso del suelo, justo antes de la transformación.

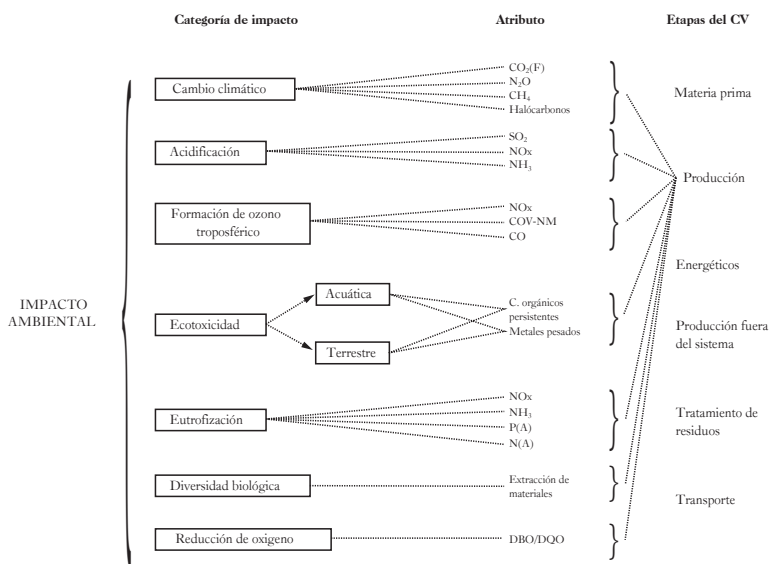
Radiaciones ionizantes. Esta categoría cubre los impactos derivados de las emisiones de sustancias radiactivas, así como la exposición directa a la radiación en los materiales de construcción. La exposición a la radiación ionizante es perjudicial de igual forma para los seres humanos y animales, por tanto el impacto debería incluir tanto la salud humana, como el medio ambiente y recursos naturales (Frischknecht *et al.*, 2000).

La evaluación al riesgo debido a una eventual liberación accidental de material radiactivo no se considera, porque están fuera del marco metodológico del ACV. De igual forma, efectos sobre la salud debido a una exposición prolongada por trabajo no se consideran. Se excluyen los casos en que se tiene poca información para evaluar los posibles impactos, como por ejemplo, los efectos en la salud debido a posibles focos de contaminación por disposición de residuos radiactivos en instalaciones subterráneas.

La controversia para muchos de estos impactos se encuentra en que evalúan el denominado “punto medio” de la cadena causa-efecto, es decir, lo que potencialmente se considera como la primera consecuencia, un tanto cuantificable, que repercute sobre el ambiente. Los cuales no siempre reflejan una clara alteración o daño sobre la salud humana o pérdida de especies animales de un lugar determinado, conocido como el daño en el punto final de esta cadena. Los diferentes modelos propuestos para las categorías de impacto resultan en factores de conversión que se aplican a los valores agrupados del ICV, esta operación recibe el nombre de caracterización, y al valor resultante indicador de categoría de impacto.

Cada indicador está asociado con alguna de las etapas del ciclo de vida del producto para facilitar su interpretación, aunque los resultados finalmente se agreguen en sumandos que incluyan las etapas de análisis (Diagrama 4).

DIAGRAMA 4
Clasificación de los indicadores de impacto



Fuente: EU. Join Research Centre (2010).

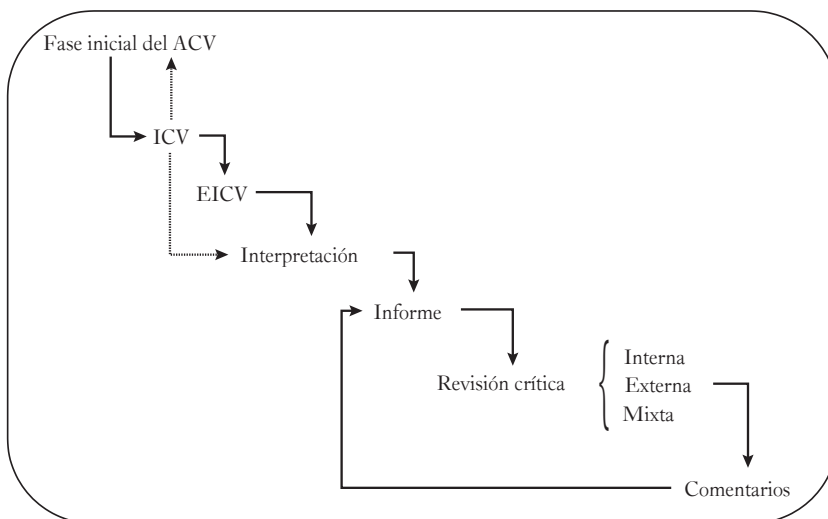
Hasta este punto la normativa ISO considera a estos lineamientos obligatorios, después se tienen operaciones opcionales como lo son: *i*) normalización, *ii*) agrupación, *iii*) ponderación, y *iv*) análisis de la calidad de los datos. Cuando el estudio es comparativo y de divulgación al público, se debe evitar la ponderación y se incluye un análisis de sensibilidad y/o incertidumbre.

En la interpretación, los resultados del análisis del inventario o de la evaluación de impacto, o de ambos se analizan en relación con el objetivo y el alcance establecido inicialmente para llegar a conclusiones. Empero la interpretación, puesto aquí como el paso previo al informe, es una acción ejecutable en cualquier momento del ACV, lo que ayuda a realizar los ajustes necesarios del estudio en tiempo real. Cuando se dé por finalizado el análisis se redacta el informe final conforme al formato dispuesto.

El estudio entonces se pone en consideración para su revisión (interna o externa), el resultado de dicha revisión debe quedar reflejado en el escrito final del ACV. El procedimiento iterativo del ACV respecto al informe final se muestra en la Diagrama 5, se puede apreciar que ICV puede ser suficientemente

satisfactorio con el planteamiento inicial como para efectuar su interpretación y que culmine en un informe del estudio.

DIAGRAMA 5
Procedimiento iterativo en la metodología del ACV



Fuente: elaboración propia.

Caso de estudio. Valorización de residuos en el procesamiento de un subproducto

Se expone a continuación un caso de estudio, que por lo acotado de su resumen, no tiene la finalidad de describir en detalle el cumplimiento de las etapas de un ACV sino, más bien, mostrar la utilidad que esta herramienta tiene para evaluar la sostenibilidad de los procesos productivos, en este caso con la valoración del aprovechamiento de biomasa residual de un producto agroindustrial (Giraldi, 2011), que puede englobarse dentro del tópico denominado *waste to energy*.

Características. El estudio consistió en evaluar las emisiones de GEI procedentes de la elaboración de aceite comestible como producto primario (aceite de oliva), y como subproducto aceite no refinado procedente de los residuos. La peculiaridad

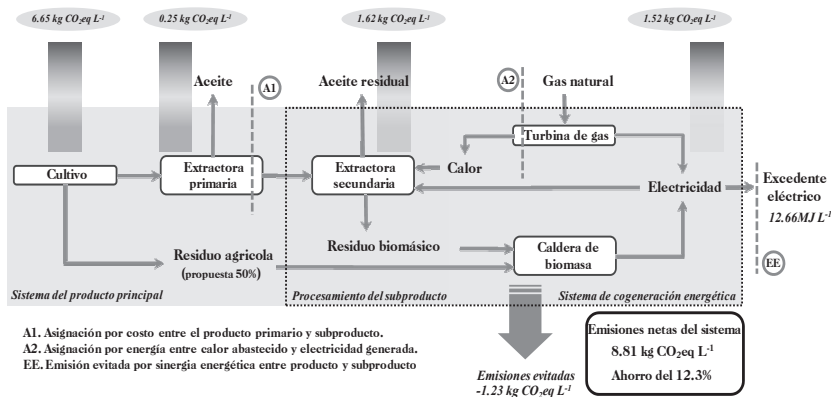
de este sistema productivo, es que ambos aceites tienen mercado de venta, el aceite secundario para utilizarse como base para comestible, biodiésel o biolubricante. Dentro de los procesos principales se observa una considerable generación de residuos biomásicos que tienen cierto poder energético. Por tanto, en el ámbito ambiental se tiene interés por valorizar los residuos que se generan en la cadena productiva, y aprovecharlo dentro del propio proceso (*closed loop*), y cómo esto repercute en las emisiones totales de los dos productos, adicionalmente evaluar el potencial de exportación del excedente energético.

Objetivo principal y unidad funcional. Evaluar el potencial de mitigación de los GEI mediante la valorización energética de residuos agroindustriales del propio sistema del producto, utilizando la herramienta del ACV. La unidad funcional corresponde a un litro de cada aceite en puerta del sistema.

Alcances y fronteras del sistema. El sistema del producto tiene cuatro procesos principales: *i*) producción agrícola, *ii*) extracción del aceite primario, *iii*) recuperación del aceite secundario, y *iv*) la generación de energía. Como bien se sabe, la principal fuente de GEI corresponde a la explotación y uso de combustibles fósiles, por tanto, la cuantificación exhaustiva está en el análisis de estos procesos. En todos los casos se han dejado fuera los bienes de capital, que en muchos casos se ha reportado un aporte menor en el global de emisiones de GEI; no así para otras cargas ambientales.

Resultados. En el Diagrama 6 se muestran los valores de cuantificación de GEI del sistema del producto. En el caso base, se tiene la propuesta de utilizar 50% de la biomasa generada en la fase agrícola, lo que representa un ahorro de emisiones del 12.3%, más un excedente de electricidad nada despreciable de 12.66 MJ por cada litro del aceite primario. Con lo cual se tiene una doble ganancia por la valorización de los residuos dentro de una configuración energética adecuada a las características del proceso. El ACV mostró su utilidad para verificar la magnitud y el potencial que tiene el aprovechamiento de subproductos y residuos.

DIAGRAMA 6
Emisiones de GEI del sistema del producto con la valorización energética



Fuente: elaboración propia.

Conclusiones

Como se pudo apreciar, el ACV es una herramienta versátil, con cualidades que permiten una evaluación de los impactos ambientales de un sistema productivo desde una precisa cuantificación de los procesos y etapas que lo integran. La inercia actual, motivada tanto por aspectos económicos como ambientales, es tener procesos eficientes que deriven en productos y servicios sostenibles, cuya sinergia involucre al fin de vida del producto a retornar al ciclo de producción, minimizando al máximo cualquier residuo que termine improductivo con el subsecuente impacto al ambiente. En este sentido, el ACV puede, primeramente, identificar puntos de mejora y eventualmente proporcionar rutas alternas para la toma de decisiones en la planificación de empresas, y en políticas de desarrollo para los gobiernos.

Bibliografía

Bare, J.C., G.A. Norris, D.W. Pennington y T. McKone (2003), "The tool for the reduction and assessment of chemical and other environmental impacts", *Journal of Industrial Ecology*, 6(3-4), pp. 49-78.

- Bare, J.C., P. Hofstetter, D.W. Pennington y H.A. Udo de Haes (2000), “Midpoints versus endpoints: The sacrifices and benefits”, *International Journal Life Cycle Ass.*, vol. 5(6); pp. 319-326.
- De Schryver, An M., K.W. Brakkee, M.J. Goedkoop y A.J. Huijbregts Mark (2008), “Characterization Factors for Global Warming in Life Cycle Assessment Based on Damages to Humans and Ecosystems”, *Journal of Environmental Science and Technology*, 43(6), pp. 1689-1695.
- Fava, J.A. (1993), “Life cycle thinking: application to product design”, en Proceedings of the 1993 IEEE International Symposium on Electronics and the Environment, Virginia, Estados Unidos, del 10 al 12 de mayo, pp. 69-73.
- Frischknecht, R., A. Braunschweig, P. Hofstetter y P. Suter (2000), “Human health damages due to ionising radiation in life cycle impact assessment”, *Environmental Impact Assessment Review*, 20(2), pp. 159-189.
- Frischknecht, R., H.J. Althaus, C. Bauer, G. Doka, T. Heck, N. Jungbluth, D. Kellenberger y T. Nemecek (2007), “The environmental relevance of capital goods in life cycle assessments of products and services”, *International Journal of Life Cycle Assessment*, pp. 1-11.
- Giraldi, M. (2011), “Evaluación del potencial de mitigación de gases de efecto invernadero en la gestión de residuos”, tesis de doctorado, Barcelona, Universidad Politécnica de Catalunya.
- Goedkoop, M., R. Heijungs, M. Huijbregts, A. De Schryver, J. Struijs y R. van Zelm (2009), *ReCiPe 2008. A life cycle impact assessment method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level*, PRé Consultants, University of Leiden, Radboud University Nijmegen, RIVM, Holanda.
- Guinée, J.B., H. de Bruijn, R. van Duin, M.A.J. Huijbregts, E. Lindeijer, A.A.H. Roorda, B.L. Van der Ven y B.P. Weidema (2002), “Handbook on life cycle assessment: operational guide to the ISO standards”, Kluwer Academic Publishers, Países Bajos/Estados Unidos.
- Hischier, R., B. Weidema, H.J. Althaus, C. Bauer, G. Doka, R. Dones, R. Frischknecht, S. Hellweg, S. Humbert, N. Jungbluth, T. Köllner, Y. Loerincik, M. Margni y T. Nemecek (2010), “Implementation of Life Cycle Impact Assessment Methods”, *Ecoinvent report*, núm. 3, vol. 2(2), Dübendorf, Suiza, Swiss Centre for Life Cycle Inventories.
- Jolliet, O., R. Müller-Wenk, J. Bare, A. Brent, M. Goedkoop, R. Heijungs, N. Itsubo, C. Peña, D. Pennington y J. Potting (2004), “The Life Cycle Impact Assessment midpoint-damage framework of the UNEP-SETAC Life Cycle Initiative”, *International Journal of Life Cycle Assessment*, vol. 9(6), pp. 394-404.

- Norris, G.A. (2006), "Social Impacts in Product Life Cycles", *International Journal of Life Cycle Assessment*, 11 Special Issue 1, pp. 97-104.
- Pennington, D.W., J. Potting, G. Finnveden, E. Lindeijer, O. Jolliet, T. Rydberg y G. Rebitzer (2004), "Life cycle assessment Part 2: Current impact assessment practice", *International Journal of Environmental*, 30(5), pp. 721-739.
- Racoviceanu, A.I., B.W. Karney, C.A. Kennedy y A.F. Colombo (2007), "Life-Cycle Energy Use and Greenhouse Gas Emissions Inventory for Water Treatment Systems", *Journal of Infrastructure Systems*, 13(4), pp. 261-270.
- Reap, J., F. Roman, S. Duncan y B. Bras (2008), "A survey of unresolved problems in life cycle assessment. Part 2: impact assessment and interpretation", *International Journal of Life Cycle Assessment*, vol. 13(5), pp. 374-388.
- Rebitzer, G., T. Ekvall, R. Frischknecht, D. Hunkeler, G. Norris, T. Rydberg, W.P. Schmidt, S. Suh, B.P. Weidema y D.W. Pennington (2004), "Life cycle assessment Part 1: Framework, goal and scope definition, inventory analysis, and applications", *International Journal of Environmental*, 30(5), pp. 701-720.
- Schmidt, J.H. (2008), "Development of LCIA characterisation factors for land use impacts on biodiversity", *Journal of Cleaner Production*, 16(18), pp. 1929-1942.
- Schryver, A.M., K.W. Brakkee, M.J. Goedkoop y M.A.J. Huijbregts (2008), "Characterization Factors for Global Warming in Life Cycle Assessment Based on Damages to Humans and Ecosystems", *Environmental Science & Technology*, 43(6), pp. 1689-1695.
- Sonnemann, G., F. Castells, M. Schuhmacher y M. Hauschild (2004), *Integrated life-cycle and risk assessment for industrial processes*, Estados Unidos, CRC Press Company, Boca Raton.
- Steen, B.A. (2006), "Abiotic Resource Depletion Different perceptions of the problem with mineral deposits", *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 11, pp. 49-54.
- U.S. Environmental Protection Agency (USEPA) (2006), *Life Cycle Assessment: Principles and Practice*, Report EPA/600/R-06/060, Estados Unidos.
- Udo de Haes, H.A. (2002), "Industrial ecology and life cycle assessment", en Ayres R.U. y Ayres L.W., *A Handbook of Industrial Ecology*, Reino Unido, pp. 138-148.
- United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) (2004), *Information on Global Warming Potentials*, Technical Paper, FCCC/TP/2004/3.
- Van Berkel, R. (2006), "Industrial ecology & Cleaner production and eco-efficiency", en Marinova D., Annandale D. y Phillimore J., *The international handbook on environmental technology management*, Reino Unido, Edward Elgar Publishing.
- Van Oers, L., A. De Koning, J.B. Guinee y G. Huppes (2002), *Abiotic resource depletion in LCA: Improving Characterization Factors for Abiotic Resource Depletion as Recommended in the New Dutch LCA Handbook*, Países Bajos, RWS-DWW Report.

CAPÍTULO V

Gestión ambiental para la ecología industrial

Graciela Carrillo González

El actual contexto de la globalización establece una dinámica de fuerte competitividad entre los agentes económicos, sean éstos individuos, organizaciones no gubernamentales, organizaciones públicas o empresas privadas, en particular estas últimas se ven en la necesidad de reformular sus mecanismos de operación y control para responder eficientemente a esa dinámica y a las nuevas demandas que les impone el mercado.

La administración contemporánea ha sido la disciplina que desde el siglo XIX se desarrolla de forma explícita con la llamada segunda revolución industrial (del acero y la electricidad) cuando Frederick Taylor¹ aporta en forma sistematizada una serie de principios y mecanismos administrativos para cumplir de la mejor manera con los objetivos de producción y eficiencia posibles hasta ese momento. Asimismo, Henry Fayol, también a finales del siglo XIX, hace importantes aportaciones como el reconocimiento de la universalidad de la administración, propone el funcionamiento de las organizaciones a partir de áreas funcionales y una serie de etapas que deben desarrollarse dentro de cualquier tipo de trabajo como parte del llamado proceso administrativo (previsión, organización, dirección, coordinación y control).

¹ F. Taylor fue considerado uno de los principales exponentes del cientificismo. Sus aportaciones en relación con los tiempos y movimientos, la estandarización de tarjetas de instrucción, la clasificación en departamentos de producción, etcétera, fueron importantes para la administración, aunque también fue duramente criticado debido a que su sistema imponía trabajos repetitivos y mecánicos.

Las aportaciones de ambos autores permitieron la construcción de la “administración tradicional” como una ciencia que respondió a la idea de que los individuos requieren de directrices señaladas por una autoridad para realizar sus funciones dentro de la organización, lo que los mantiene en una situación de dependencia permanente. Este enfoque resultó funcional al modelo productivo fordista el cual exigía alta productividad a partir del uso intensivo de la mano de obra con base en los principios de tiempos y movimientos, segmentación en el proceso de producción, separación entre concepción, ejecución y supervisión, estandarización de los métodos, etcétera.

Posteriormente, hacia mediados del siglo XX se consolida en Japón un sistema organizativo de excelencia que se coloca dos décadas más tarde con gran aceptación en el mundo occidental, el llamado Modelo Toyota,² el cual bajo una visión más integral propone que las organizaciones operen a la luz de una mayor participación de los trabajadores, consumidores, socios comerciales, proveedores y competidores, lo que propicia una conciencia distinta en los individuos al momento de tomar decisiones.

El funcionamiento de las organizaciones dio un giro a partir de esta nueva filosofía que las ha llevado a una mayor productividad y niveles de competencia. Los procesos actualmente se rigen por principios y conceptos diferentes asociados a la calidad, el compromiso, la creatividad, la flexibilidad y el desarrollo de capacidades, en este escenario se transita del concepto de administración al de gestión, que si bien es cierto, en el *Diccionario de la lengua española* aparecen como sinónimos, en la cotidianidad de las empresas este último proyecta la idea de mayor participación, efectividad y eficiencia.

En el contexto actual, la gestión de las empresas³ constituye una herramienta fundamental para dar respuesta a los fuertes retos que impone el mercado para cumplir con los objetivos básicos de cualquier organización: *viabilidad, rentabilidad y permanencia*, ya no es suficiente ofrecer productos o servicios diferenciados y/o de

² El Modelo Toyota se establece en la compañía del mismo nombre desde la década de 1930, sin embargo, su esquema de producción y las directrices que de él se desprenden se consolidan en las empresas japonesas en la década de 1970.

³ La gestión empresarial estudia la organización de las empresas y la manera en que se utilizan los recursos, se desarrollan los procesos y se llega a los resultados de sus actividades.

excelente calidad, a esto se suman otro tipo de demandas asociadas a la protección del ambiente, los derechos de los trabajadores, el patrimonio de las empresas y del entorno con que se relaciona, un marco legal complejo y exigente, y una buena reputación de las compañías.

La discusión que se desencadena en el ámbito internacional a partir de la década de 1970, en relación con el deterioro y agotamiento acelerado del medio ambiente y los recursos naturales, resultado del modelo productivista predominante en la economía mundial, da lugar a la necesidad de atender el problema desde diversas esferas, entre ellas la empresarial, que ha ido desde la remediación de daños, hasta la reconversión de procesos, la tecnológica y la organizativa y en los últimos años algunas empresas asumen también con acciones de responsabilidad social.

La gestión ambiental

La actividad humana en general y la económica en particular se han caracterizado por hacer uso de los recursos disponibles para satisfacer necesidades específicas de consumo que involucran no sólo procesos de transformación sino también de distribución, las actividades que para ello se demandan impactan positivamente en tanto atienden a la necesidad, pero en muchas ocasiones negativamente sobre los recursos naturales y el medio ambiente.

Hasta hace tres décadas la visión predominante sobre los procesos económicos partía de la idea de “un sistema cerrado en sí mismo en el que los agentes económicos, consumidores o productores, se comportan de forma *racional* buscando maximizar su bienestar o su beneficio respectivamente, pero sin tener en cuenta las repercusiones que sus acciones tienen en el medio social y físico que les rodea” (Durán, 2007:33).

Sin embargo, las discusiones, lineamientos y directrices que derivaron de la reunión de Estocolmo en 1972, la “Conferencia de Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente Humano” y la publicación del libro *Los límites al crecimiento, informe al Club de Roma*, cuando se introduce por primera vez en la agenda política internacional la dimensión ambiental para señalar los límites del modelo tradicional de crecimiento económico y del uso de los recursos naturales, dan la pauta para empezar a redefinir la política pública y las acciones privadas en distintos contextos y en distintos momentos.

Los impactos que genera toda actividad humana sobre el medio ambiente son, a partir de esos años, evidentes para los tomadores de decisiones, los efectos se han medido, corroborando que van desde una escala de impacto local hasta impactos a nivel planetario. En este escenario la gestión pública y privada de las organizaciones se vuelve indispensable, no sólo para cumplir con los objetivos de rentabilidad sino para incorporar el componente ambiental bajo la perspectiva de un sistema abierto a la entrada de energía y cerrado al uso de recursos naturales y a la generación de residuos.

La gestión ambiental se torna en “un conjunto de acciones encaminadas a lograr la máxima racionalidad en el proceso de decisión relativo a la conservación, defensa, protección y mejora del medio ambiente”. Se trata de acciones que se desprenden tanto del poder público como de la iniciativa privada y de la organización social espontánea. Los frentes bajo los cuales se aborda la gestión ambiental son: el económico, el ecológico, el social y el legal, es decir, acciones que son rentables, constituyen una fuente de bienestar económico, respetan las dinámicas de los ecosistemas y derivan en el desarrollo social.

La gestión a través del poder público se vio inicialmente reflejada, en muchos países, con la promulgación de leyes relacionadas con el uso y cuidado de los recursos naturales bajo el principio de “quien contamina paga”, además de una serie de regulaciones administrativas y acuerdos internacionales que empiezan a desarrollarse a partir de los años setenta y posteriormente, durante la década de los ochenta, a través de instituciones especializadas en la creación y uso de instrumentos económicos así como la implementación de políticas y programas de impacto federal, regional y local.

En cuanto a la gestión ambiental desde la empresa, el año 1992 fue un momento clave, con la publicación del trabajo *Cambiando el rumbo. Una perspectiva global del empresariado para el desarrollo y el medio ambiente*, elaborado por el Consejo Empresarial para el Desarrollo Sostenible –WBCSD por sus siglas en inglés– presidido entonces por Stephan Schmidheiny en el cual fue presentada una perspectiva global empresarial bajo los principios del desarrollo sostenible con el fin de propiciar el compromiso de la comunidad empresarial en este tema.

La gestión ambiental empresarial

La visión tradicional del sector empresarial que fijaba sus objetivos exclusivamente en la rentabilidad económica y dejaba fuera de su consideración los aspectos sociales y ambientales se ha ido modificando en muchas empresas, principalmente en el caso de la gran empresa, los factores determinantes son básicamente tres: la presión legal derivada de una serie de normativas y regulaciones presentes en prácticamente todos los países; la presión social que se ha hecho manifiesta desde la década de 1970 a partir de acciones colectivas en defensa de los recursos naturales y el derecho humano a un ambiente sano y posteriormente con la conformación de asociaciones formales y demandas ciudadanas concretas hacia las empresas; y la presión de los mercados frente a consumidores cada vez más conscientes y exigentes, así como empresas que han convertido su imagen de empresa limpia en un factor de competitividad (Conde, 2003).

Evidentemente este tipo de presiones que enfrentan hoy las empresas no es un asunto pasajero, ello ha obligado a un proceso de reconfiguración que utiliza herramientas y sistemas asequibles que les permiten responder a las nuevas exigencias para mantenerse dentro del mercado en condiciones de competitividad.

El acercamiento que se ha dado de las empresas con la problemática ambiental está asociado en primera instancia al cumplimiento de leyes que regulan y sancionan los impactos negativos de la actividad productiva sobre los recursos como: el agua, el aire, la generación de ruido y residuos, el consumo excesivo de energía, etcétera. La reacción que se presenta en este contexto es la de resarcir daños y cumplir con lo mínimo indispensable para evitar la sanción, en algunos casos se opta por aprovechar los instrumentos económicos e introducir alguna nueva tecnología.

A partir de la década de 1990, aun cuando la normativa sigue siendo importante, son los incentivos económicos basados en mecanismos de mercado los que impulsan a las empresas a adoptar soluciones de tipo preventivo, tecnologías de producción limpia y acuerdos de colaboración voluntarios para apegarse a la legislación ambiental y generarse una imagen de empresa limpia que es utilizada como ventaja competitiva en los mercados internacionales.

La gestión en las empresas busca mejorar la productividad y por ende la competitividad en los distintos negocios. Hoy en día, se entiende que la gestión ambiental en el ámbito de la gestión empresarial, es un factor crucial que influye

decisivamente tanto en la imagen corporativa de la empresa como en la calidad del producto, en el costo de la comercialización y en la competitividad. Las empresas cada vez más enfocan su gestión a la satisfacción de los clientes como objetivo primordial ante las amenazas de la competencia.

Una adecuada gestión ambiental representa varias ventajas para el medio ambiente y para la competitividad de la empresa como: mejora en los procesos productivos, ahorro en el consumo de materias primas, ahorro en el consumo de energía, reducción de costos para controlar la contaminación, mejora en la imagen de la empresa, se adquiere mayor competitividad a la luz de una postura responsable, se evitan demandas judiciales, sanciones y surgen oportunidades para nuevos negocios (negocios verdes).

El medio ambiente en la estrategia empresarial

Las decisiones que se toman dentro de la empresa dependen tanto del contexto en el que se desempeña como de la situación interna de la misma, a partir de ello se lleva a efecto el proceso de planeación donde se definen las estrategias y acciones que derivan en el cumplimiento de los objetivos y las metas. Es una condición indispensable que el medio ambiente sea considerado en la planeación estratégica para que pueda llevarse a cabo un proceso de gestión ambiental.

La definición de las estrategias dentro de la empresa es una responsabilidad de la alta dirección, el proceso que ahí se sigue se agrupa básicamente en cuatro etapas: determinación de objetivos; diagnóstico del entorno; diagnóstico interno de la empresa e implementación de las acciones. Existen algunos elementos comunes, en las cuatro etapas señaladas, entre empresas que han incorporado la gestión ambiental como parte de sus actividades.

Son tres los niveles en que se definen las estrategias, el corporativo, el de negocio y el funcional. La estrategia corporativa define los negocios en que se va a competir y se decide en relación con el grado de diversificación, las posibilidades de integración, las alianzas, el ámbito geográfico y las directrices generales del grupo. Por otro lado, la estrategia de negocio decide la forma en que va a competir la empresa, bajo qué estrategia concreta va a enfrentar a los rivales y qué objetivo general va a guiar las acciones de las distintas áreas de la empresa. Finalmente la estrategia funcional es aquella que sin perder de vista

el objetivo general de la empresa y las directrices del corporativo se define en cada una de las áreas funcionales.

La incorporación del medio ambiente en la misión de la empresa es el primer paso que pone de manifiesto el reconocimiento de que el entorno actual de las organizaciones exige atención a los problemas de contaminación y escases de recursos naturales y también la identificación en las distintas etapas de la cadena de valor, donde se reconocen los problemas ambientales específicos del proceso. Los requisitos para incorporar el tema en la empresa son básicamente dos: una cultura ambiental que incluye convicción sobre el cuidado del ambiente en la alta dirección y el involucramiento y participación de los trabajadores; la utilización adecuada de los instrumentos y herramientas de gestión ambiental que le resulten adecuadas a las particularidades de la empresa.

Existen diversas herramientas que son utilizadas para integrar el factor del medio ambiente en la gestión de la empresa: la evaluación de impacto ambiental, la auditoría ambiental, el análisis de ciclo de vida del producto, el ecodiseño, la etiqueta ecológica, el *marketing* ecológico, y los sistemas de gestión ambiental.

La evaluación de impacto ambiental es un procedimiento administrativo al que deben someterse obligatoriamente determinados proyectos o actividades en función de sus características. Este procedimiento administrativo ambiental se inserta en el procedimiento sustantivo tradicional de aprobación del proyecto, para lo cual se requiere de un estudio y una manifestación de impacto ambiental.

La auditoría ambiental es el análisis y apreciación de la situación ambiental y del impacto de una empresa sobre el medio ambiente, permite a la empresa diseñar estrategias para mejorar su actuación ambiental de forma continua. La auditoría ambiental se emplea para medir el grado de cumplimiento de la normativa ambiental, permite proporcionar una cobertura legal a la empresa, genera la información necesaria para mejorar los resultados de la empresa.

El análisis de ciclo de vida de un producto permite mostrar que el impacto ambiental de un producto no sólo se produce en el proceso de manufactura sino también en otras fases de su ciclo de vida previos o posteriores a la fabricación.

El ecodiseño es de gran ayuda para introducir mejoras en los productos y procesos de forma que el impacto ambiental se reduzca. La etiqueta ecológica es un distintivo de carácter voluntario que se concede a los productos que tienen un impacto reducido sobre el medio ambiente y el *marketing* ecológico

es aplicado con el fin de satisfacer las necesidades de un segmento creciente de consumidores comprometidos con el cuidado del ambiente.

Los sistemas de gestión ambiental son una herramienta que aporta las bases para orientar, encauzar, medir y evaluar el funcionamiento de la empresa, asegurar que sus actividades son acordes a la política ambiental corporativa.

Los sistemas de gestión ambiental

Un sistema de gestión ambiental (SGA) es un proceso cíclico de planeación, implementación, revisión y mejora de los procedimientos y acciones que lleva a cabo una organización para realizar su actividad garantizando el cumplimiento de sus objetivos ambientales. La mayoría de los sistemas de gestión ambiental permiten la mejora continua y están contruidos bajo el modelo: “planificar, hacer, comprobar y actuar”.

- *Planificar*. Incluye los aspectos ambientales y establece los objetivos y las metas a lograr.
- *Hacer*. Significa implementar la formación y los controles operacionales necesarios para alcanzar las metas establecidas.
- *Comprobar*. Es comparar lo que se ha planeado contra lo que se realizó, y corregir las desviaciones observadas.
- *Actuar*. Consiste en revisar el progreso obtenido y efectuar los cambios necesarios para la mejora del sistema.

Se ha señalado que los objetivos principales de un SGA son:

- Garantizar el cumplimiento de la legislación medioambiental.
- Fijar y promulgar las políticas y procedimientos operativos internos necesarios para alcanzar los objetivos medioambientales de la empresa.
- Identificar, interpretar, valorar y prevenir los efectos que la actividad empresarial produce sobre el medio ambiente, analizando y gestionando los riesgos en los que la empresa incurre como consecuencia de su actividad.
- Reducir y concretar el volumen de recursos.

- Obtener la calificación del personal apropiado en función del nivel de riesgos existentes y los objetivos medioambientales asumidos por la empresa, asegurando al mismo tiempo su disponibilidad cuando fuese necesario.

El primer paso para que una empresa implante un sistema de gestión ambiental es que desarrolle una política ambiental en la cual se establezcan los objetivos generales, los principios de acción y los procedimientos con los que la empresa asume el compromiso de mejorar su actuación respecto del medio ambiente. La política ambiental es el motor para la implantación y mejora continua del sistema de gestión ambiental de la empresa, lo que le permite mejorar potencialmente su comportamiento hacia el medio ambiente.

Las mismas razones que justifican en una empresa asumir una conducta ambientalmente positiva son las que explican implantar un sistema de gestión ambiental, a saber: la presión social, la presión legal y la presión del mercado. Las ventajas que ofrece este tipo de sistemas son que se puede establecer rápidamente una política ambiental que se adapte a las necesidades y problemas específicos, se pueden determinar los impactos ambientales, se identifican las exigencias de orden legal aplicables a la empresa, se identifican las prioridades y se fijan los objetivos ambientales apropiados a la empresa y se facilitan las actividades de planeación, control, vigilancia y corrección.

Existen otro tipo de ventajas que se asocian de manera directa con los intereses económicos de la empresa y que justifican en términos de rentabilidad económica las inversiones que se hacen necesarias como son: la reducción del riesgo de accidentes, al mejorar la calidad ambiental mejora la calidad global, el ahorro en el consumo energético y /o de materias primas, mejora en los procesos productivos, mejora la imagen de la empresa y su posición competitiva, se tiene acceso a ciertos fondos financieros, incrementa la probabilidad de permanencia de la empresa en el mercado.

La implantación del sistema de gestión ambiental exige de un compromiso de mejora continua de la actuación ambiental, hacer un diagnóstico inicial que permita identificar los problemas y hacer un plan que involucre a todo el personal y que tenga la aceptación de los grupos interesados. El siguiente diagrama da una idea de las acciones a seguir:

DIAGRAMA 1

Acciones y etapas en la implantación de un sistema de gestión ambiental



Fuente: adaptado de IEM-FUI, 2000. Gestión Medioambiental de la Empresa.

La implantación del SGA permite la incorporación del cuidado del medio ambiente en la estrategia de la empresa y repercute en el cuidado del entorno. Entre los elementos clave, de carácter general, de un SGA se incluyen los siguientes (Fundación Entorno, 1998:22):

- La política ambiental: documento público en el que se recoge el compromiso de la dirección para la gestión adecuada del medio ambiente. Señala las intenciones y principios de acción en relación con el medio ambiente.
- El programa ambiental, en el que se recogen las actuaciones previstas por la empresa en los próximos años. En él se concreta la política ambiental en una serie de objetivos y metas, se definen las actividades necesarias y las responsabilidades del personal involucrado, asignando los recursos para su ejecución.
- La estructura organizativa, con una asignación clara de las responsabilidades a personas con competencias en actividades con incidencia, directa o indirecta, en el comportamiento ambiental de la empresa.
- La formación, información interna y competencia profesional al personal que desarrolla actividades vinculadas con lo ambiental en la empresa.

- La integración de la gestión ambiental en la gestión de las operaciones de la empresa, a través de documentos que incorporan condicionantes de comportamiento ambiental en las diversas actividades y operaciones de la empresa.
- La vigilancia y seguimiento, para controlar y medir regularmente las principales características de las operaciones y evaluar los resultados.
- La corrección y prevención, mediante acciones encaminadas a eliminar las causas reales o potenciales, que limitan el cumplimiento de los objetivos y metas.
- La auditoria del SGA, para comprobar periódicamente la adecuación, eficacia y funcionamiento del sistema.
- La revisión del SGA, por la dirección, para evaluar periódicamente la eficacia y adecuación del sistema.
- La comunicación externa, para informar a las personas interesadas sobre los resultados del comportamiento medioambiental.

Estos elementos del SGA se agrupan al momento de la implantación en cuatro fases:

- I. Definición y comunicación del proyecto: en esta fase debe darse un compromiso por parte de la Dirección de la empresa y una vez esto, se deben definir correctamente las bases del proyecto de implantación donde se establezca; qué norma de certificación se elegirá, dónde se va a implantar, en qué plazo y la compatibilidad con otros sistemas vigentes. Posteriormente es necesario establecer un eficiente mecanismo de comunicación corporativa donde se dé a conocer al personal los beneficios del sistema.
- II. Diseño del Sistema de Gestión Ambiental: esta fase inicia con una revisión ambiental en la que se identifican los problemas ambientales y se contrastan con las exigencias legales. Los temas a considerar son: el impacto ambiental, el consumo energético, los materiales y bienes utilizados, la eliminación de residuos, las emisiones a la atmósfera, la gestión del agua, los ruidos, los nuevos productos, las dinámicas con proveedores, los accidentes y riesgos en el proceso, el desempeño y disposición del personal y la información que se maneja y que se debe incorporar. El segundo paso es priorizar los requerimientos ambientales y decidir a qué ámbitos de actuación se canalizan los recursos; finalmente se hace necesario planificar el sistema a través de la elaboración de documentos, donde se señale la política y los objetivos

ambientales a todos los niveles de la organización con programas ambientales, manuales de organización y manuales de procedimientos.

- III. Instalación del SGA: en esta fase se presentan dos etapas: la implementación y la diferenciación. La primera tiene como objetivo poner en funcionamiento el sistema en todos los niveles operativos, para lo cual es necesario contar con programas de formación, instrucciones de trabajo, registros ambientales y documentación importante que sirva de consulta para la implantación del sistema. La verificación es un proceso continuo que analiza los resultados obtenidos para comprobar que se adecúan a la normativa y a los objetivos y metas de la empresa. En esta fase se llevan a cabo las auditorías del SGA, las cuales a partir de la implantación deben ser periódicas y pueden realizarse por parte de personal interno o externo, la finalidad es que se verifique si se cumple la normativa, si hay oportunidades de mejora, determinar si el sistema es el adecuado y los resultados alcanzados en relación con el comportamiento ambiental esperado. Finalmente la dirección lleva a cabo una revisión del sistema y una vez satisfechos se emite la declaración ambiental, documento mediante el cual dan a conocer públicamente las acciones seguidas y los resultados ambientales, así como las metas a seguir.
- IV. Verificación y certificación: una vez comprobada la eficacia del sistema y el cumplimiento de los requisitos establecidos en la norma se procede a la certificación del sistema. El proceso de certificación en la Comunidad Europea se hace de acuerdo con los requisitos del Reglamento CEE 1836/93 las EMAS (Environmental Management System) y a escala internacional el proceso se certifica de acuerdo con la norma ISO 14001 (International Society Organization).

Una vez consideradas las características y fases para la implantación del SGA hay que señalar que la organización que quiere incursionar en esto tiene a su alcance distintas posibilidades. En primer lugar, puede optar por implantar su propio sistema, de acuerdo con sus necesidades y motivaciones, como sería el caso de la elaboración de un programa interno de reducción de residuos o el diseño de un conjunto de medios y métodos no documentados que gestione la interacción de la organización con el medio ambiente (Roberts y Robinson, 1999).

No obstante, un SGA ya homologado, facilita el establecimiento de un conjunto de pautas sistemáticas de comportamiento ambiental que ya han sido

probadas por otras organizaciones y que permiten medir la actuación de la empresa con unos criterios aceptados internacionalmente. Además, cuando el sistema implantado cumple con los requisitos establecidos para su homologación, se puede solicitar su certificación. La principal ventaja de acceder a la misma es la evaluación profesional e independiente que asegura ante la sociedad el cumplimiento ambiental de la organización. De hecho, se observa una tendencia creciente hacia la certificación en empresas privadas e instituciones públicas.

Los dos sistemas de mayor reconocimiento internacional para la certificación ambiental son la serie de normas ISO 14.000 y las EMAS, arriba citadas, cabe señalar que entre un sistema de certificación y otro existen algunas diferencias relevantes que se muestran en el Cuadro 1.

CUADRO 1
Diferencias en los sistemas de certificación

ELEMENTOS	ISO-14001	EMAS
Evaluación Ambiental	Recomendable en caso de no disponer de un Sistema de Gestión Ambiental previo.	Obligatorio si no se dispone de un Sistema de Gestión Ambiental previo certificado.
Ciclo de Auditoría	No existe una periodicidad establecida.	El ciclo dependerá del tipo de actividad desarrollado.
Alcance de la Auditoría	Sistema de Gestión Ambiental.	Además del Sistema de Gestión Ambiental debe incluir: <ul style="list-style-type: none"> • La política ambiental. • El programa. • El cumplimiento de la legislación aplicable.
Declaración Ambiental	No es necesaria.	Necesaria. Debe ser pública y de periodicidad anual.
Validez	Puede ser autocertificada aunque lo más habitual es que sea certificada por un organismo acreditado.	Debe ser verificada por un organismo acreditado. Además se exige la validación de la Declaración Ambiental.
Registro	No es necesario.	Las organizaciones son inscritas en el registro de empresas adheridas por el organismo competente.

Fuente: adaptado de Durán (2007).

La norma ISO 14001

Debido a que la ISO 14000 es la certificación que se utiliza en América, conviene explicar de manera general algunas de sus características. Como se señaló, la ISO 14000 es una serie de normas de gestión medioambiental aceptadas internacionalmente. Esta serie, que se ha convertido en uno de los patrones de referencia más acreditados a escala mundial, incluye un conjunto de normas y estándares propuestos que recogemos en el Cuadro 2.

CUADRO 2
Normas ISO

Norma	Título
14001	Sistemas de gestión ambiental. Especificaciones y directrices para su utilización.
14004	Sistemas de gestión ambiental. Directrices generales sobre principios, sistemas y técnicas de apoyo.
14011	Guía para las auditorías de sistemas de gestión de calidad o ambiental.
14020	Etiquetado ecológico y declaraciones ambientales.
14031	Gestión ambiental. Evaluación del rendimiento ambiental.
14040	Gestión ambiental. Evaluación del ciclo de vida.
14041	Gestión ambiental. Análisis del ciclo de vida.
14062	Gestión ambiental. Integración de los aspectos ambientales en el diseño y desarrollo de los productos.

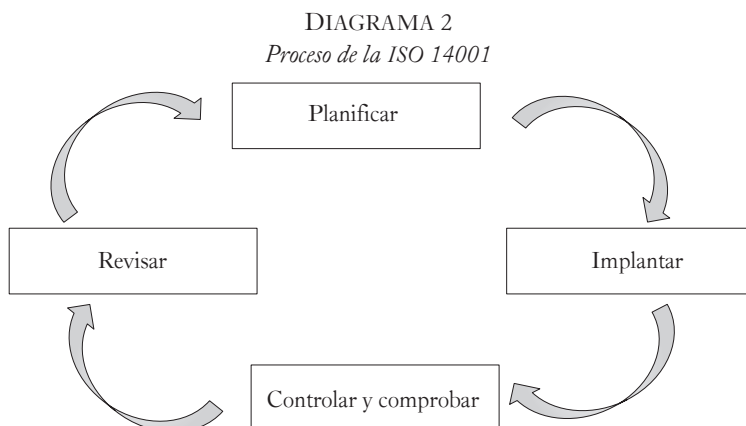
Fuente: IEM-Fundación Universitaria Iberoamericana (2001); Gestión Ambiental de la Empresa. Consultoría Ambiental.

De la familia de normas ISO 14000, la más importante es la ISO 14001 “Sistemas de gestión ambiental. Especificaciones y directrices para su utilización” ya que esta es la norma de referencia que se utiliza para la certificación oficial del sistema de gestión ambiental. Esta norma tiene como objetivo principal preservar el frágil equilibrio existente entre la protección y conservación del medio ambiente y las necesidades socioeconómicas de las empresas, al aplicar esta norma la empresa consigue mejorar su sistema de gestión, cumplir con la legislación ambiental y con la política ambiental que la propia empresa se ha impuesto y dar una imagen positiva al ser reconocida como empresa respetuosa con el ambiente.

Los principios que soportan la ISO 14001 son: reducción de los niveles de emisiones, residuos generados y riesgos ambientales; compromiso de la dirección con el cuidado del ambiente, utilización adecuada de los recursos naturales,

auditorías y autoevaluación continua e información al público de los aspectos ambientales relevantes.

La estructura de la norma suele ser normalmente jerárquica, donde la propia norma a partir de un manual será la directriz para la política ambiental empresarial, para la planificación e implantación del sistema y para las decisiones sobre acciones correctoras y la revisión por parte de la dirección. La implantación de esta norma, en términos generales se apeg a las fases ya descritas de un sistema de gestión ambiental y se puede resumir en un proceso continuo que incluye la planificación, puesta en práctica, comprobación y revisión para posteriormente ajustar el plan, esto se observa en el Diagrama 2.



Fuente: IEM-Fundación Universitaria Iberoamericana (2001).

Con la inclusión de la gestión ambiental en la estrategia de las empresas apegándose a una norma como la ISO 14001 se brindan las ventajas de todo sistema de gestión ambiental como: reducir el riesgo de multas y sanciones; facilitar una evolución “más sostenible” de los procesos productivos; reforzar y mejorar la imagen de la empresa; reducir costos por accidentes y por descontaminaciones que les sean exigibles; ahorrar materias primas y reducir su consumo; y aumentar la confianza de inversionistas y clientes, pero también les otorga el plus de la certificación al tiempo que se cumple con reducir los efectos

negativos sobre el ambiente como las emisiones de gases, la generación de aguas residuales, la acumulación de residuos tóxicos, la contaminación de suelos y el uso irracional de los recursos naturales, las empresas que han logrado avanzar en la implantación de un SGA han visto que ello repercute en su desempeño económico y ambiental.

La gestión ambiental para la ecología industrial en México

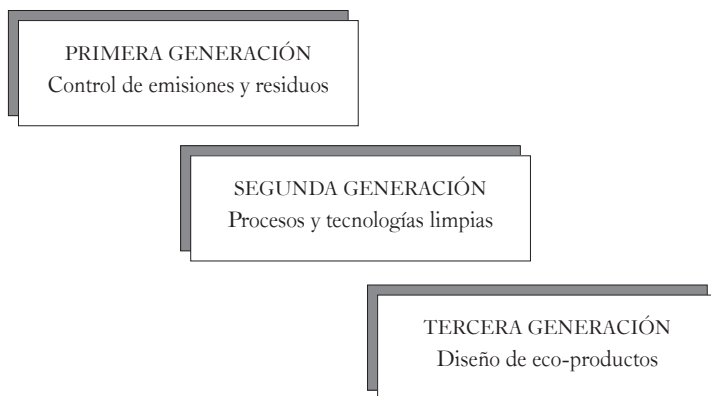
Actualmente las empresas que han adoptado medidas para mejorar su desempeño ambiental se clasifican en tres generaciones: empresas de primera generación que son las que operan “al final del tubo”, éstas tratan de encontrar alguna forma de reducir el volumen de residuos y emisiones que se generan en sus procesos o dar tratamiento a los desechos sólidos que se derivan de ellos.

Empresas de segunda generación, son las que operan en el proceso de producción, modifican sus procesos y sustituyen la tecnología obsoleta por nuevas tecnologías ahorradoras de recursos y energía, que al procesar los materiales reducen considerablemente la cantidad de desechos.

Empresas de tercera generación que se dedican al desarrollo de nuevos productos y consideran que desde la concepción de la idea y el diseño del producto deben asumirse criterios ecológicos para que no exista desperdicio ni despilfarro de recursos. Esto se observa en el Diagrama 3.

DIAGRAMA 3

Características de empresas que incorporan la gestión ambiental en su proceso productivo



Fuente: Carrillo (2007).

Es posible señalar que muchas de las empresas que se encuentran en la segunda y tercera generación han incorporado en sus actividades diversos elementos que las aproximan a la certificación de un sistema de gestión ambiental.

En el caso de México son las empresas grandes las que han logrado obtener certificaciones ambientales, principalmente se desempeñan como empresas de segunda generación y eventualmente de tercera. Muchas otras que emprenden acciones ambientales se ubican como empresas de primera generación, y lo hacen fundamentalmente por exigencias del gobierno. El caso de las grandes empresas de la industria petroquímica instaladas en el corredor industrial de Altamira en el Estado de Tamaulipas, resulta de interés debido a que se trata de empresas que cuentan con una política ambiental corporativa, con un sistema de gestión ambiental y en su mayoría tienen el certificado de la ISO 14001, asimismo aunque no tienen formalmente reconocido en su política ambiental una estrategia de ecología industrial, se cuenta en el corredor con varias sinergias identificadas.

La industria petroquímica en Altamira se conforma básicamente por plantas industriales que corresponden a filiales de grandes corporativos internacionales, equipadas con tecnología de punta, con una fuerte vocación exportadora y con certificaciones ambientales vigentes, en esta materia la aplicación de Sistemas de Gestión Ambiental, el desarrollo permanente de ecoeficiencias y el reciclaje y recuperación de agua y materiales está presente.

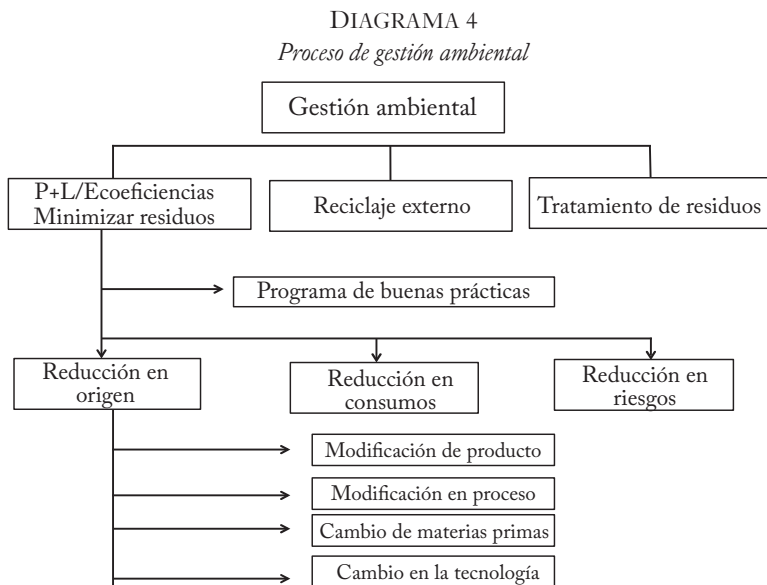
De una muestra de seis grandes empresas (Indelpro, INSA, Mexichem, M&G, NHUMO y Petrocel) del ramo de la petroquímica, instaladas en el corredor de Altamira y con una permanente participación en el Comité de Seguridad Industrial y Protección Ambiental (SIPAISTAC) de la Asociación de Industriales del Sur de Tamaulipas (AISTAC), se identificó que todas ellas cuentan con una política ambiental corporativa, ello determina la existencia en cada caso de un departamento específico que atiende los aspectos de calidad ambiental el cual en la mayoría de los casos se liga a la seguridad e higiene de la planta, asimismo cuentan con un sistema de gestión ambiental y con un sistema de indicadores ambientales que les permite dar seguimiento a las recomendaciones de las continuas auditorías ambientales, en todas ellas se lleva una estricta gestión de los residuos peligrosos.

De las seis empresas cuatro de ellas cuentan con la certificación ISO 14001, mientras que las otras dos ya tienen la plataforma establecida y están en proceso de certificación, cinco de las empresas citadas tienen la certificación de Industria Limpia de la Semarnat y cuentan también con la certificación de Responsabilidad Integral de la Asociación Nacional de la Industria Química –ANIQ. Entre las buenas prácticas en materia ambiental que se han adoptado a partir de su participación en 1997-1998 del proyecto “By Product Sinergy”, está la búsqueda e identificación permanente de ecoeficiencias, así como acciones de cooperación para el establecimiento de sinergias ambientales.

Como se ha señalado, la ecología industrial busca establecer una interrelación entre las industrias, el medio social y el medio natural para aproximarse a cerrar el ciclo de materia y energía, lo cual se consigue en parte utilizando los residuos de una industria como materia prima de otras, en ese sentido las empresas al incorporar en su funcionamiento los sistemas de gestión ambiental llevan ya incorporado el principio de la ecología industrial, ya que no sólo se logran mayores eficiencias sino que en el camino se están minimizando los impactos sobre el ambiente, se aprovechan los recursos existentes y los residuos que se generan, el proceso de reciclaje de materiales y la recuperación de energía quedan implícitos como un objetivo del sistema de gestión y las posibilidades de alcanzar beneficios sociales y económicos se incrementan considerablemente.

Un proceso de gestión ambiental orientado hacia la ecología industrial considera tres líneas fundamentales: herramientas para la reducción de residuos en el origen; el reciclaje una vez generado el residuo; y el tratamiento y

valorización de los mismos, elementos que se incorporan en un programa de buenas prácticas, tal como se ve en el Diagrama 4.



Fuente: Elias (2009).

La recuperación de los residuos ineludibles en los proceso de otras plantas es una de las prácticas más comunes en las experiencias de ecología industrial, sin embargo, la eficiencia energética y el reuso de recuperación de agua vienen a conformarse como elementos importantes, entre otros.

La gestión ambiental “se está volviendo central para la estrategia corporativa y está siendo manejada como un área de competencia más que como una función orientada al cumplimiento” (Lenta y Wells, 1992; en Epstein, 2000:24); en ese sentido, el mismo Epstein señala que los negocios pueden desempeñar un papel clave en la protección ambiental si se utiliza esta visión para crear ventajas competitivas y esta visión se percibe en varias empresas de Altamira; para el gobierno esto puede ser aprovechado para combinar la política ambiental incorporando sanciones e instrumentos económicos con la decisión de las empresas por las ventajas que les ofrece el mercado.

Conclusiones

La atención del medio ambiente no es un asunto de moda en las empresas, sino que se ha vuelto un tema imprescindible al momento de definir sus estrategias, muchas de ellas se han percatado que acciones a favor del ambiente pueden representar una ventaja competitiva en el mercado.

El hecho de que se hayan tenido manifestaciones del sector empresarial a favor de mejorar las prácticas productivas a partir de principios de la década de 1990, ha permitido que se avance con el desarrollo de importantes herramientas y métodos probados y homologados para acompañar a las empresas en el cumplimiento de objetivos ambientales.

Los sistemas de gestión ambiental representan hoy un método altamente confiable para que de manera eficiente y efectiva las empresas que así lo decidan alcancen los objetivos ambientales que se proponga. Sin embargo, es claro que las posibilidades que ofrece esta herramienta también pueden ser utilizadas sólo para generar una imagen sin que exista un real compromiso que se traduzca en una modificación de sus valores y de sus actividades.

La ecología industrial ofrece una estrategia que se traduce en acciones muy claras y operativas para realizar adecuaciones en los procedimientos tradicionales de las plantas manufactureras, principalmente; ello brinda una mayor probabilidad de que se realicen cambios efectivos en los procesos. En este sentido, apoyarse en una política ambiental desde la planta o desde el corporativo favorece y establece condiciones más adecuadas para la consolidación de sinergias y la ejecución de ecoeficiencias.

La experiencia en México muestra que, en general, existe una mayor implantación de sistemas de gestión ambiental formales en las grandes empresas, las cuales cuentan con una política ambiental y se están certificando bajo la norma ISO 14001, desafortunadamente más del 90% de las empresas en el país son pequeña y microempresas en las que los recurrentes problemas que ponen en riesgo la sobrevivencia les impiden dedicar parte de sus recursos al establecimiento de este tipo de sistemas.

Es un reto para la economía nacional, a través de sus agentes privados (léase empresarios), alcanzar el crecimiento de los negocios, la certidumbre y la estabilidad económica incorporando la consideración del medio ambiente; esto debe crecer a la par de la conformación de un mercado de consumidores

interesados en el tema que exijan y premien las iniciativas en ese sentido y también se requiere que se desarrollen políticas de orientación y apoyo desde el gobierno que hagan cumplir las sanciones y también proporcionen incentivos a los agentes económicos para implantar sistemas de gestión ambiental alineados a los principios de la ecología industrial.

Bibliografía

- Carrillo, G. (2005), “Ecología industrial y sustentabilidad. El proyecto sinergia de subproductos en Altamira-Tampico”, tesis de doctorado, Universidad de Barcelona, España.
- Claver, E., J.F. Molina y J.J. Tarí (2005), *Gestión de la calidad y gestión medioambiental. Fundamentos, herramientas, normas ISO y relaciones*, Madrid, Pirámide.
- Conde, J. (2003), *Empresa y medio ambiente. Hacia la gestión sostenible*, España, Nivola Libros.
- Conesa, V. (1997), *Los instrumentos de la gestión ambiental en la empresa*, Madrid, Mundi-Prensa.
- Durán, G. (2007), *Empresa y medio ambiente. Políticas de gestión ambiental*, Madrid, Pirámide.
- Elias, X. (2009), *Reciclaje de residuos industriales. Residuos sólidos urbanos y fangos de depuradora*, España, Ediciones Díaz de Santos.
- Epstein, M. (2000), *El desempeño ambiental en la empresa. Prácticas para costear y administrar una estrategia de protección ambiental*, Bogotá, ECOE Ediciones-ASCCODI.
- Instituto de Estudios Medioambientales/Fundación Universitaria Iberoamericana (2000), “Gestión ambiental de la empresa”, en apuntes del diplomado en Formación Ambiental, vol. V, Barcelona, España.
- Pousa, X. (2010), *La gestión medioambiental: un objetivo común. Cómo reducir el impacto medioambiental de las actividades*, Ediciones de la Universidad de Bogotá, Colombia.
- Ritter, W., G. de la Lanza, Pérez Tahimí (2010), *La soberbia antropogénica y la transdisciplina en el medio ambiente*, México.
- Rubio, V. (2004), “La gestión ambiental en la pequeña y mediana empresa” [http://www.ces-cv.es/conferencias_medio_ambiente/segundas/3.pdf].
- Schaltegger, S., R. Burrit y H. Petersen (2003), *An introduction to corporate environmental mangement. Striving for sustainability*, Reino Unido, Greenleaf. Publishing.
- Schmidheiny, S. (1992), *Cambiando el rumbo. Una perspectiva global del empresario para el desarrollo y el medio ambiente*, Colombia, FCE.

SEGUNDA PARTE
Experiencias de ecología industrial en México

CAPÍTULO VI
La base material de la economía mexicana:
un análisis de sus flujos de materiales*

*Ana Citlallic González Martínez***

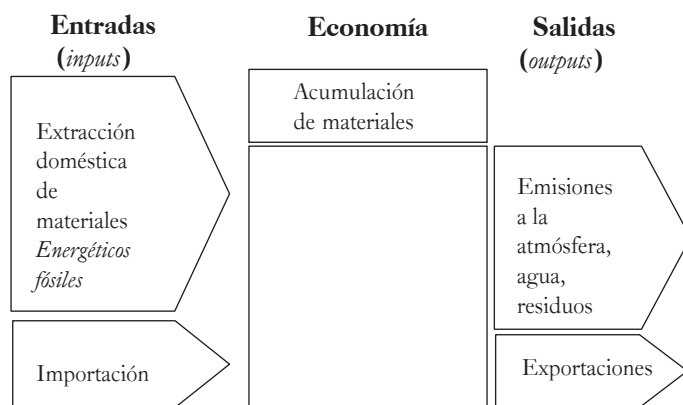
En los últimos años se ha publicado un cúmulo importante de literatura sobre el debate de la sustentabilidad en América Latina. Sin embargo, pocos de estos estudios llevan a cabo evaluaciones empíricas y la mayoría se basan principalmente en medidas monetarias o índices, mientras que poca importancia se le ha dado al desarrollo de indicadores biofísicos que midan los requerimientos de recursos naturales y materiales por parte de las actividades económicas. Este documento intenta contribuir en este sentido generando una contabilidad de flujos de materiales para la economía mexicana.

Midiendo los flujos de materiales que entran en la economía, la acumulación material al interior de ésta, así como los flujos que salen de ella hacia otras economías o hacia el medio ambiente (como residuos o emisiones), la contabilidad de flujos de materiales (MFA por sus siglas en inglés) provee una evaluación empírica de la dimensión física de un sistema económico (Diagrama 1). Los indicadores que se generan a partir de la contabilidad de flujos de materiales se consideran indicadores de presión y expresan un impacto potencial en el medio ambiente. Se dice que al medir la cantidad de materiales que usa una

* El presente artículo es una versión actualizada y amplificada del documento publicado en la revista internacional *Ecological Economics*: González-Martínez, A.C., H. Schandl (2008), "The biophysical perspective of a middle income economy: Material flows in Mexico", *Ecological Economics*, vol. 68, núm. 1-2, pp. 317-327.

** Doctora en ciencias ambientales (opción economía ecológica) por la Universidad Autónoma de Barcelona [anacitlallic.gonzalez@uab.cat; anacitlallic.gonzalez@gmail.com].

DIAGRAMA 1
Los flujos de materiales en las economías



Fuente: adaptado de Eurostat (2001).

economía se obtiene una medida de su impacto potencial, ya que el efecto real depende no sólo de la cantidad, sino también de las características físicas de estos materiales e incluso, del entorno natural en donde se consuman o extraigan esos materiales. Los impactos ambientales afectan de manera diferente de acuerdo con el ecosistema que los recibe (Cleveland y Ruth, 1999). Los indicadores que se presentan en este documento atienden a los impactos potenciales resultantes de la cantidad de materiales extraídos y usados en la economía mexicana.

Los estudios de análisis de flujos de materiales identifican a las actividades de extracción de recursos naturales como las principales fuentes de impactos ambientales negativos (Giljum *et al.*, 2005). Por ejemplo, el impacto ambiental de la minería en los paisajes, el uso del agua y la biodiversidad se han documentado exhaustivamente y han sido fuente de importantes conflictos sociales en los países de América Latina, como es el caso de Perú (Muradian *et al.*, 2003). Por otra parte, la agricultura extensiva y la industria ganadera han sido la principal causa de la degradación de los bosques y de grandes cambios en el hábitat, así como de la pérdida de biodiversidad en la región amazónica (Martínez-Alier, 2002). En México, la exploración y extracción de petróleo, además de agotar un recurso no renovable, ha tenido importantes impactos ambientales y sociales al entrar en conflicto con los derechos de propiedad y disminuir las condiciones de vida de las comunidades locales. Las actividades petroleras contaminan agua y suelo,

movilizan grandes cantidades de materiales y requieren grandes infraestructuras (Epstein y Selver, 2002). Asimismo, la extracción de petróleo requiere cada vez mayores cantidades de energía conforme se agotan las reservas y se ha de perforar en aguas más profundas para conseguir más recursos petrolíferos (Gately, 2007).

En este capítulo se ofrece una perspectiva biofísica de la economía mexicana mediante la contabilidad de sus flujos de materiales cubriendo el periodo 1970-2003, durante el cual la economía mexicana experimentó importantes transformaciones. Su estructura productiva se modificó sustancialmente como resultado de la aplicación de reformas económicas, encaminadas a la estabilización y el crecimiento, así como a la liberalización de la economía. Los efectos económicos de estas reformas así como sus impactos sociales, han sido exhaustivamente analizados por los economistas (Dussel, 2002; Guillén, 2006; Chávez, 2006). Sin embargo, los impactos ambientales de estos cambios estructurales y sus efectos en el patrón de uso de los recursos naturales en el país han sido escasamente abordados.

Si bien se coincide en afirmar que el crecimiento económico conduce a un aumento en el uso de recursos, no se conoce la magnitud de estos cambios ni la manera como han cambiado en términos cualitativos. ¿Acaso México se ha vuelto más eficiente en el uso de sus recursos en las recientes décadas? Asimismo, en el presente estudio se intenta identificar cómo han afectado las reformas económicas a la estructura física del comercio exterior de México. Históricamente México ha desempeñado el papel de proveedor de materias primas —o de economía periférica en el argot estructuralista de la CEPAL— en el comercio internacional. ¿Podría ser que México haya cambiado ese papel en los últimos años como resultado de la liberalización de su economía?

Para dar respuesta a estas preguntas de investigación, este documento se divide en seis apartados. En el primero se explica la base metodológica y conceptual de la contabilidad de los flujos de materiales y se explica el procedimiento para obtener los principales indicadores. Asimismo, se proveen las fuentes de información para la contabilidad MFA de México. En la segunda parte se analiza el contexto socioeconómico del estudio a partir de una revisión de la evolución de la economía mexicana entre 1970 y 2003. En la tercera se analiza la presión que las actividades económicas ejercen en la dotación de recursos naturales del país, mediante el análisis de los niveles y tendencias de la extracción doméstica de materiales. La cuarta parte se destina al análisis de los patrones del uso y

consumo de materiales en México. Para ello, los indicadores obtenidos aplicando la metodología MFA se relacionan con variables macroeconómicas para analizar la interfase entre la dimensión económica y la física. En la quinta parte se describen los cambios ocurridos en el patrón del intercambio comercial de México con el exterior en términos físicos, como resultado del modelo de desarrollo adoptado a partir de 1980. Finalmente, se ofrecen las conclusiones y algunos comentarios adicionales de cara a la actual crisis internacional y los efectos que tiene en el perfil biofísico de esta economía.

Metodología y aspectos conceptuales

La contabilidad de los flujos físicos se basa conceptualmente en la noción de *metabolismo social* y tiene una larga historia intelectual (Fischer-Kowalski, 1998; Fischer-Kowalski y Huettler, 1998). El análisis empírico de este concepto cobró impulso en la década de 1990 con la publicación de una serie de estudios de casos nacionales de países industrializados (Adriaanse *et al.*, 1997) y una metodología acordada internacionalmente. A partir del 2000, se ha aplicado de manera extensiva en un mayor número de países desarrollados (Matthews *et al.*, 2000; Weisz *et al.*, 2006) y se ha logrado avanzar considerablemente en la armonización de las cuentas MFA, gracias al trabajo realizado en el grupo de trabajo de la OCDE sobre información ambiental y productividad de los recursos (para una revisión, véase Moriguchi, 2007). Recientemente, la contabilidad de flujos de materiales se ha aplicado a las economías latinoamericanas como Chile, Colombia, Ecuador (Giljum, 2004; Vallejo *et al.*, 2011; Vallejo, 2010) y Argentina (Pérez-Manrique *et al.*, en revisión). Asimismo, ha permitido los primeros estudios comparativos de patrones de uso de recursos en América Latina (Amann *et al.*, 2002; Eisenmenger *et al.*, 2007; Russi *et al.*, 2008). A pesar de este importante avance en la aplicación de la metodología en la región —llevado a cabo por parte de investigadores y académicos—, la CEPAL no ha publicado cuentas MFA ni ha llevado a cabo análisis usando sus indicadores, a pesar de su relevancia y utilidad para el planteamiento de políticas públicas en la región.¹

¹ Mediante el establecimiento de cuentas satélite, las cuentas de flujos de materiales MFA cuantifican todos los insumos materiales que entran a la economía, omitiendo agua y aire,

A pesar del progreso que se ha logrado en la consolidación de la metodología, resulta todavía complejo construir un balance completo de materiales para toda una economía. Gran parte de los obstáculos estriba en la falta de información estadística particularmente de los flujos de salida (Cuadro 1), por lo que el presente análisis, si bien se enfoca en todos los flujos de entrada, sólo contabiliza los flujos de salida que van a otros sistemas económicos –las exportaciones–, omitiendo los flujos de residuos y de emisiones contaminantes. Asimismo, cabe mencionar que sólo se contabilizaron los *flujos directos* –las entradas con un valor económico– haciendo caso omiso de los *flujos indirectos*, es decir, de aquellos flujos que no se intercambian directamente en el mercado pero están asociados con la extracción de materias primas (por ejemplo, las ingentes cantidades de rocas y tierra que se movilizan para extraer minerales), así como los materiales necesarios para producir las mercancías importadas.

Los flujos de materiales que se contabilizan en este análisis son la extracción doméstica (DE, por sus siglas en inglés), las exportaciones (X) y las importaciones (M) mientras que los indicadores que se derivan de la contabilidad MFA son el *input* de materiales doméstico (DMI), el consumo de materiales doméstico (DMC) y la balanza comercial en términos físicos (PTB). En el Cuadro 8 se describen estos flujos, indicadores y principales categorías de materiales, así también se apuntan las fuentes de información estadística.

Las principales categorías de materiales son biomasa, combustibles fósiles y minerales. La biomasa incluye todos los recursos renovables que se obtienen de la naturaleza, y se compone de cultivos primarios, alimentos para animales, silvicultura y pesca. Los combustibles fósiles incluyen el carbón, petróleo, gas natural y otros energéticos fósiles mientras que la categoría minerales incluye minerales industriales, minerales metálicos y minerales para la construcción. Un aumento de la extracción de estas dos últimas categorías significaría el agotamiento de estos recursos no renovables. Por otra parte, como se aprecia en el Cuadro 1, todas las fuentes de información estadística son nacionales.

complementando así el Sistema de Cuentas Nacionales. A fin de que los datos calculados para México sean comparables a escala internacional se aplicó la metodología estándar de Eurostat (Eurostat, 2001) y que publica recientemente la OECD (2008).

CUADRO 1
Flujos, categorías e indicadores contabilidad de flujos de materiales

Flujos: categorías, indicadores y materiales	Descripción	Fuentes de información
<i>Flujos de materiales</i>		
Extracción doméstica	Extracción de recursos naturales por parte del ser humano.	Ver categorías
Importaciones y exportaciones físicas	Importaciones y exportaciones en toneladas clasificadas por nivel de procesamiento y principal componente material.	1970-1974: SPP (1971, 1973,1975) 1975-1993: INEGI (1998) 1993-2003: Bancomext (2002, 2004)
<i>Indicadores de flujos de materiales</i>		
<i>Input</i> doméstico de materiales (DMI)	<i>Input</i> de materiales doméstico e importados para las actividades económicas.	
Consumo doméstico de materiales (DMC)	La fracción de materiales que se queda en el sistema económico antes de que potencialmente se libere al medio ambiente como residuos o emisiones.	
Balance de comercio físico (PTB)	El flujo neto de materiales que salen y entran a la economía nacional y salen de ella hacia otras economías.	
<i>Categorías materiales</i>		
Biomasa	Materiales biológicos usados por el ser humano y el ganado.	
Cultivos primarios	Cereales, raíces, tubérculos, legumbres secas, plantas oleaginosas, vegetales, frutas, fibras y otros cultivos.	1970-1979: INEGI (1999) 1980-2003: Sagarpa (2005) bases de datos contrastadas con FAO (2006)
Biomasa de pasturas permanentes	Oferta de pasturas para el <i>stock</i> de ganado existente.	Extensión territorial: Semarnat (2006) coeficientes de cosecha anual: Cotecoca (1987), Jaramillo (1994a, 1994b,1994c)
Forrajes	Residuos de cultivos usados como alimento de ganado.	1970-1979: INEGI (1999) 1980-2003: Sagarpa (2005)
Silvicultura	Madera extraída en plantaciones y bosques naturales, incluida la leña.	INEGI (1999), Presidencia de la República (2005). Para leña FAO (2006)
Pesca	Captura de peces y crustáceos.	1970-1989: INEGI (1999). 1990-2003: Presidencia de la República (2005).

continúa...

CUADRO 1
(continuación)

Flujos: categorías, indicadores y materiales	Descripción	Fuentes de información
<i>Flujos de materiales</i>		
Minerales industriales	Producción de minerales usados en la industria.	
Minerales metálicos	Producción de minerales metálicos medidos por su contenido bruto de metal.	SGM (1993, 1998, 1999, 2000, 2001, 2003), INEGI (1999), USGS (2003), Cemex.
Minerales de construcción	Arena y grava utilizada para la producción de concreto y asfalto así como otros minerales utilizados para la construcción.	
Combustibles fósiles	Producción de carbón, petróleo, gas natural y otros fósiles.	1970-1995: INEGI (1999) 1996-2003: INEGI (1993), INEGI (2000), Presidencia de la República (2005).

Fuente: adaptado de Weisz *et al.* (2006).

Nota: para mayor detalle en las fuentes de información estadística y procedimiento de cálculo, véase González (2008).

Evolución de la economía mexicana, 1970-2003

Desde la década de 1940 y hasta la segunda mitad de la de 1970, la estrategia de desarrollo económico en México se basó principalmente en la sustitución de importaciones² y en un fuerte proteccionismo de la industria nacional por parte del Estado. Durante este periodo, México experimentó el crecimiento económico más dinámico de toda su historia. El PIB real per cápita creció a una tasa promedio anual del 3.1%. A finales de la década de 1970, la economía mexicana gozó además el gran impulso del auge petrolero.

² El régimen de sustitución de importaciones consistió en la protección de la industria nacional mediante barreras comerciales. Bajo este régimen, la política industrial se operaba a través de programas específicos para cada sector, con el objetivo de construir una industria capaz de producir bienes de capital y productos intermedios. Esta política se complementó con una fuerte intervención del Estado para llevar a cabo proyectos de inversión con el objetivo de suministrar productos intermedios estratégicos y básicos (Moreno-Brid *et al.*, 2005). Asimismo, se crearon empresas públicas por razones de seguridad o para evitar quiebras y mantener el empleo.

Aunado al crecimiento de la economía, en la década de 1970 se empezó a gestar un proceso de hiperinflación que desembocó en la crisis de 1982 (crisis de la deuda) y en la de 1986-1987 (crisis del petróleo). El principal factor que llevó al colapso económico fue el deterioro de la estructura productiva causada por un aumento drástico de los ingresos generados durante el auge petrolero, un fenómeno descrito en la literatura económica como la *enfermedad holandesa*.³

El alto nivel de endeudamiento y la gran dependencia de las exportaciones de petróleo contribuyeron a la vulnerabilidad de la economía a los *shocks* externos.

Durante la década de 1980, la economía no creció y el ingreso per cápita disminuyó 15%. Como reacción a la crisis y con el fin de estabilizar la economía, en 1988 se adopta un programa económico neoliberal basado en políticas fiscales y monetarias restrictivas, múltiples devaluaciones de la moneda, la apertura de la economía y una creciente dependencia de las fuerzas del mercado en lugar de la planificación gubernamental. En 1986, México inició un conjunto de políticas destinadas a estimular el libre comercio como su adhesión al Acuerdo General sobre Aranceles Aduaneros y Comercio (GATT), siendo una de las primeras economías de América Latina en hacerlo. Hacia finales de 1988, el proceso de liberalización de la economía mexicana había culminado (Ten Kate y De Mateo, 1989).

Desde entonces, México ha firmado más de 12 tratados comerciales con 43 países liberando 90% de su comercio. Asimismo, forma parte de la Organización

³ El argumento central de la *enfermedad holandesa* es que la abundancia de recursos naturales o cierto auge de éstos aleja los recursos de los sectores de la economía que tienen externalidades positivas en el crecimiento (Sachs y Warner, 1999:48). En México, el drástico aumento de los ingresos provocado por el auge petrolero deterioró la estructura productiva en general. Este fenómeno en México se explica en detalle por Cárdenas (1996:112): el aumento del ingreso nacional en dólares aumentó la demanda de productos nacionales e importados provocando un aumento de precios. Sin embargo, debido a que el precio de los productos que se importaban estaba fijado en dólares por el mercado internacional, y los precios de los bienes que no se pueden importar se fijan por la oferta y demanda internos, los precios de los insumos locales tienden a aumentar abruptamente como la mano de obra, energía, construcción y más rápido que el precio de sus productos finales, pues su oferta era limitada al tiempo que la demanda crecía, mientras que los bienes finales podían ser importados y, por consiguiente, su precio en dólares estaba fijo. Esta situación reducía los márgenes de utilidad de las empresas nacionales, por lo que su competitividad se deterioraba debido a factores externos a las propias empresas, como era la propia bonanza generada por los ingresos extraordinarios de divisas por el petróleo y el endeudamiento.

para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) y la Organización Mundial de Comercio (OMC). El acuerdo comercial más importante es el tratado de libre comercio con los Estados Unidos y Canadá (TLCAN), que fue ratificado en 1994, y que le ha permitido triplicar su comercio en términos monetarios. Hoy en día, casi 85% de las exportaciones de México tienen como destino Estados Unidos, por lo que la economía mexicana se ha visto expuesta a los ciclos económicos de ese país. La inversión extranjera directa (IED) ha aumentado, sobre todo en las industrias orientadas a la exportación, transformando la posición de México en el mercado mundial (Moreno-Brid *et al.*, 2005). Durante el periodo 1982-2003, México pasó de ser simplemente un país exportador de petróleo a ser un importante exportador de productos manufacturados, según la balanza comercial. Como veremos más adelante, esta tendencia también se observa en términos físicos (toneladas).

Sin embargo, las reformas económicas adoptadas no evitaron un nuevo colapso económico en la década de 1990. En 1994-1995, México sufrió una gran crisis financiera que provocó una reducción de 7% en la actividad económica ese año. Desde entonces, la economía no ha recuperado el dinamismo observado en la década de 1970 y ha sido incapaz de crear suficientes empleos para satisfacer la creciente oferta de mano de obra. De 1995 a 2003, el crecimiento medio del PIB real fue de 2.5 por ciento.

Durante el periodo de estudio, la estructura económica se modificó considerablemente, resultando en un predominio del sector servicios. En 2003, las actividades de servicios representaron 67% del producto nacional, mientras que las actividades industriales sólo 27% y el sector primario representó sólo 6% (INEGI, 2006).

Por otra parte, las reformas estructurales no lograron la reducción de la pobreza ni una mejor distribución del ingreso. En 2000, 24% de la población mexicana se situaba en extrema pobreza,⁴ el mismo nivel que se había observado en 1968, más de 30 años atrás (Székely, 2005). El índice de Gini fue de 0.48 en el 2000, casi el mismo registrado en 1977 (0.49). Actualmente, 20% de la población de ingresos más altos concentran 56.2% del ingreso del país (Banco Mundial, 2011). Por otro lado, si se compara con la mayoría de otras economías

⁴ Aquí el concepto de extrema pobreza se refiere a la incapacidad para obtener alimentos (Székely, 2005).

de América Latina, México en 2003 aún tenía una posición privilegiada –a pesar de la inestabilidad económica– al contar con el mayor PIB per cápita en América Latina (US\$6,770). Actualmente ha perdido esa posición frente a Brasil. En 2010 el PIB per cápita de Brasil fue US\$10,710 frente a US\$9,166 de México (Banco Mundial, 2011).

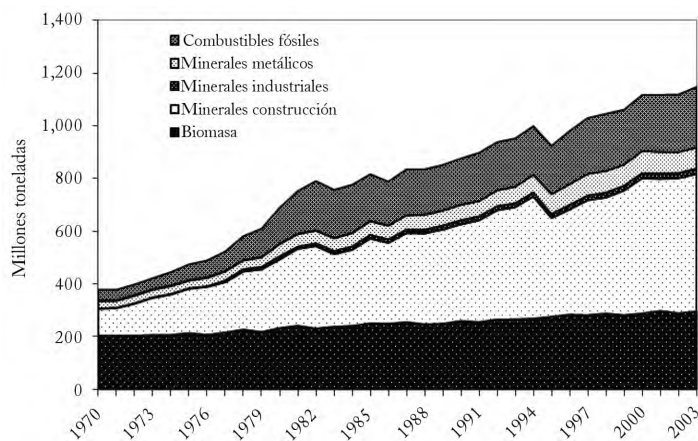
Extracción de materiales en México

El primer indicador biofísico es la extracción doméstica (DE), que da cuenta de la cantidad de materiales extraídos dentro de las fronteras de la economía. El nivel de extracción doméstica de recursos naturales depende en gran medida de la distribución espacial y la disponibilidad de los recursos (Eurostat, 2002). México tiene un territorio de 1.9 millones de km², con una variedad de climas que van desde los bosques tropicales en el sur hasta los áridos desiertos en el norte, lo que supone un gran potencial para la extracción de recursos.

Sin verse afectada por la inestabilidad económica, la extracción doméstica de materiales en México aumentó de manera constante durante todo el periodo de estudio. En esos 30 años, la extracción nacional se triplicó pasando de 349 millones de toneladas en 1970 a 1.148 millones de toneladas en 2003. En términos per cápita, la DE se incrementó de 7.4 a 11.2 toneladas entre 1970 y 2003, una cantidad considerable si tenemos en cuenta que la extracción promedio global de recursos fue de 8.2 toneladas per cápita en 1999 (Eisenmenger y Schandl, 2006). Sin embargo, estableciendo una comparación con otros países de la región como Argentina, 14.2 ton en 2003 (Perez *et al.*, en revisión) o Perú, 18.4 ton en el mismo año (Russi *et al.*, 2008), encontramos que la extracción doméstica en México está muy por debajo.

Como se aprecia en la Gráfica 1, la composición de la extracción doméstica también sufrió cambios importantes entre 1970 y 2003. La característica más sobresaliente es el aumento considerable en la cantidad de minerales y combustibles fósiles extraídos en el país desde 1970. Estas categorías se multiplicaron por 5 y 6, respectivamente, durante las tres décadas. Como resultado, la extracción de biomasa redujo su participación de 54 a 26%, marcando un importante cambio en la base de los recursos de México.

GRÁFICA 1
 Extracción doméstica de materiales en México 1970-2003
 (en millones de toneladas)



Fuente: elaboración propia.

Durante este periodo, los combustibles fósiles aumentaron su participación de 11 a 20%. En 2003, la mayor parte de la extracción de materias primas la constituyen los minerales, y en especial los minerales de construcción, con una proporción de 54 y 45% respectivamente. La industrialización y la creciente urbanización, así como una mayor población, han requerido mayores infraestructuras y más vivienda (que se refleja en la gran cantidad de materiales de construcción extraídos).

En México, las instituciones gubernamentales han desempeñado un papel importante en la financiación de la construcción de vivienda. En la década de 1970 se crearon el Infonavit y el Fovissste, instituciones públicas de crédito para la vivienda. 1980-1990 fue el periodo más dinámico en la construcción de viviendas: el parque habitacional creció de 8 millones a 12 millones durante esa década, registrando una tasa de crecimiento anual de 4.6% en promedio. Las dos décadas siguientes fueron menos dinámicas debido a la desaceleración económica y la crisis. La tasa de crecimiento anual de nuevos edificios durante 1980-1990 fue de 3.3% y 3.4% en el periodo 1990-2000 (INEGI, 2008). En los años de crisis económica, los créditos para vivienda y otras actividades de

construcción se contrajeron. El PIB del sector de la construcción disminuyó en 23.5% durante la crisis económica de 1994-1995 (INEGI, 2006). Las inversiones en la construcción de infraestructura siguieron un patrón cíclico registrando una caída importante del gasto público durante la crisis económica. Por ejemplo, en 1995 el gasto en infraestructura disminuyó 33 por ciento.

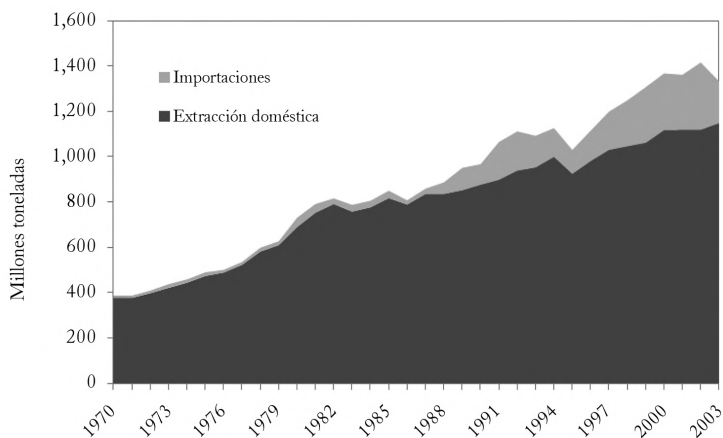
De acuerdo con los indicadores de flujos de materiales, la extracción de minerales de construcción parece estar muy desligada de las fluctuaciones económicas, aunque en años críticos como 1982 y 1994-1995, la extracción de minerales para la construcción se contrajo junto con la economía. Esto sólo en parte confirma los hallazgos de otros estudios de caso en los que se observó que la extracción absoluta de materiales de construcción estaba determinada por los niveles de riqueza (PIB/per cápita) ya que mientras más crece una economía, más infraestructura necesita y, por lo tanto, demanda más materiales de construcción (Giljum *et al.*, 2005; Weisz *et al.*, 2006). Es necesario analizar de manera desagregada los componentes de la demanda global de estos materiales para identificar por un lado, el impacto de la construcción de viviendas y por otro el de la construcción de infraestructura, en la demanda global de minerales de construcción.

El uso y consumo de materiales en la economía mexicana

El análisis de flujo de materiales tiene como objetivo dar una descripción completa de la economía en términos físicos. El indicador *input* doméstico de materiales (DMI por sus siglas en inglés) mide todos los materiales que tienen un valor económico y que se usan directamente para la producción o consumo. Este indicador se calcula sumando las importaciones a la extracción doméstica. En la Gráfica 2 se observa la evolución del DMI en millones de toneladas. En él se observa claramente la cantidad de materiales creciente que entran en la economía mexicana. El DMI aumentó de 384 millones a 1 300 millones de toneladas en sólo tres décadas, lo que equivale a un aumento de 7.6 a 13 toneladas per cápita.

Aunque las importaciones crecieron rápidamente, la extracción nacional ha sido la principal fuente de insumos materiales. Las importaciones empezaron a cobrar importancia sólo a partir de la década de 1980. En 1970 los materiales importados sólo representaban 2% del DMI, creciendo su participación hasta 14% en 2003.

GRÁFICA 2
Evolución del input doméstico de materiales en México 1970-2003
 (en millones de toneladas)



Fuente: elaboración propia.

La información sobre los flujos de materiales es de gran relevancia ya que nos permite tener un análisis más completo de la economía mexicana. Si el análisis se limitara sólo a los datos económicos podría concluirse erróneamente que, gracias al cambio estructural, la economía mexicana ha utilizado menos recursos naturales ya que las actividades del sector servicios han aumentado su importancia hasta llegar a significar 61% en 2010 (Banco Mundial, 2011). Se supone que los servicios consumen menos materias primas que las actividades primarias y la industria.⁵ Sin embargo, la información que nos provee el MFA

⁵ La Curva Ambiental de Kuznets erróneamente supone una reducción en el uso de materiales cuando las economías se vuelven más ricas. Mientras que en las primeras etapas de desarrollo, se afirma, los ingresos son bajos y también lo son las necesidades de materiales; la industrialización conduce a un aumento de la demanda de materiales principalmente para infraestructura básica. Conforme el país se desarrolla las necesidades de infraestructura se satisfacen y la demanda del consumidor se desplaza hacia los servicios, que se supone que son menos intensivos en el uso de materiales (Cleveland y Ruth, 1999; Stern, 2001). Si bien se ha observado la estabilización del uso de materiales en algunas economías industriales, no hay evidencia suficiente de una disminución general del uso de recursos (Weisz *et al.*, 2006).

sobre la economía es que a pesar del aumento relativo de los servicios en la economía, los flujos físicos subyacentes se han incrementado dramáticamente. Las actividades del sector terciario no han sustituido la producción ni el consumo intensivo en materiales.

La cantidad cada vez mayor de insumos materiales extraídos en el país coincidió con la disminución de la importancia económica de las actividades primarias como fuente de ingreso nacional y como proveedoras de empleo. En 1970, la agricultura, silvicultura y pesca aportaron en conjunto 11.2% del valor agregado, mientras que la minería contribuyó con 2.6%. Hoy en día, la agricultura ha reducido su participación en 4% y la minería hasta 1.2%, aunque ambas actividades subieron en términos absolutos, lo que se refleja en el crecimiento de la extracción doméstica. Considerando la poca importancia relativa de la agricultura y la minería en la economía, México presenta un patrón típico de país industrializado. A diferencia de México, otros países de América Latina que se han especializado en exportaciones de recursos naturales, como Chile o Ecuador, muestran una creciente importancia relativa de las actividades del sector primario (Giljum, 2004; Russi *et al.*, 2008). En este sentido, destaca el caso de Argentina, cuyo sector agrícola genera 9% del valor agregado total (Banco Mundial, 2011).

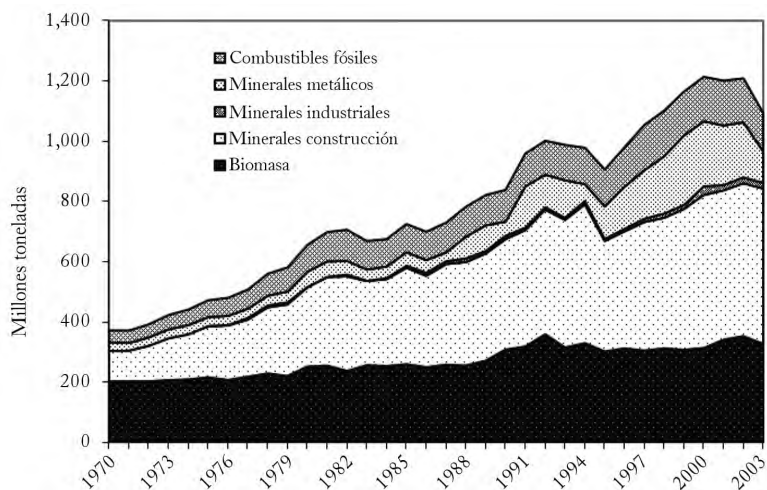
Mientras que el DMI se centra en los insumos, el indicador de consumo doméstico de materiales (DMC) provee información sobre la cantidad de materiales que permanecen dentro del territorio nacional. Por lo tanto, se calcula restando las exportaciones al DMI. El DMC contabiliza todos los materiales utilizados –tanto el consumo intermedio como el final– en la economía y se considera como un indicador de los residuos y las emisiones potenciales de una economía (Weisz *et al.*, 2006). Debido a que el DMC incluye también el consumo intermedio, este indicador crece cuando aumenta la extracción de recursos y la producción de bienes.

El consumo de materiales en México (DMC) creció de manera similar al *input* de materiales (DMI) durante el periodo de estudio. En 1970, la cantidad de materiales consumidos fue de 370 millones de toneladas y aumentó a cerca de un mil millones de toneladas en 2003. En términos per cápita, el DMC creció de 7.3 a 10.7 toneladas en el mismo periodo. ¿Pero es éste un nivel de consumo de materiales alto? Si lo comparamos con Argentina, país con un nivel de ingreso per cápita similar al de México, encontramos que el consumo de materiales

per cápita de México es relativamente bajo. La economía argentina en 2003 consumía 12.3 toneladas (Pérez *et al.*, en revisión).

La Gráfica 3 muestra el consumo de materiales dividido por tipo de flujo. Como se puede apreciar, México aumentó su consumo de materiales, principalmente debido a un mayor consumo de minerales de la construcción, mientras que el consumo de combustibles fósiles y la biomasa aumentaron a un ritmo mucho más lento. En 2003, los minerales de construcción representaron 47% del total de los materiales consumidos en la economía (Cuadro 2), mientras que otros flujos crecieron escasamente o vieron disminuir su participación. Tal es el caso de los combustibles fósiles —que pasaron del 10.8 en 1970 a 14% en 1980 y a 12% en 2003— o la biomasa cuya participación disminuyó de 55 en 1970 a 30% en 2003.

GRÁFICA 3
Evolución del consumo doméstico de materiales en México 1970-2003
(en millones de toneladas)



Fuente: elaboración propia.

El marcado incremento en el uso de minerales está vinculado a la fuerte tendencia urbanizadora (Garza, 1999) y a la creciente importancia de las manufacturas y sus necesidades de infraestructura. El aumento más lento en el consumo de combustibles fósiles en comparación con el aumento de la

producción industrial, indica una disminución de la intensidad energética en el sector industrial. De hecho, la intensidad energética ha disminuido desde 1988 (Aguayo y Gallagher, 2005). Además, el consumo de energía residencial per cápita del hogar aumentó sólo 13% en las últimas tres décadas, desde 6,201 PJ a 7,055 PJ. Sin embargo, menos de la mitad del consumo total de energía del sector residencial, 42%, proviene de los combustibles fósiles.

La leña sigue siendo un combustible importante en los hogares, especialmente en las zonas rurales, cubriendo 36% del consumo de energía residencial (Sener, 2007). Un estudio realizado por Masera *et al.* (2005) sugiere que 80% de la demanda de energía en las zonas rurales se sigue abasteciendo con leña.

CUADRO 2
Consumo doméstico de materiales en México por categoría, 1970-2003 (%)

	1970	1980	1990	2003
Total	100	100	100	100
Biomasa	54.9	38.7	36.9	30.0
Cultivos consumo humano	16.4	13.2	11.2	10.9
Alimentos animales	33.7	21.5	17.9	15.2
Animales	0.1	0.2	1.4	0.3
Madera	4.3	3.3	5.9	3.0
Otra biomasa	0.4	0.5	0.4	0.5
Minerales	34.3	47.7	50.5	58.3
Minerales de construcción	-	39.8	43.5	46.9
Minerales industriales	-	0.1	1.3	1.8
Minerales metálicos	-	7.9	5.7	9.6
Combustibles fósiles	10.8	13.6	12.6	11.7
Carbón	-	0.3	0.5	1.3
Petróleo crudo	-	9.5	9.0	8.0
Gas natural	-	3.8	3.1	2.4

Fuente: elaboración propia.

El consumo per cápita de combustibles fósiles en México (1.24 ton por persona) es similar al de Chile (Giljum, 2004) y al de Argentina (Pérez *et al.*, en revisión) en ese mismo año, países que tienen un PIB per cápita similar al de México. Por otra parte, México al igual que estos países de América del Sur

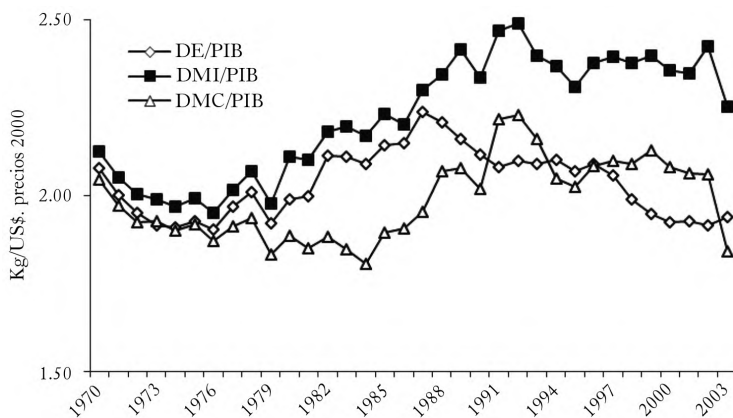
no llega a los niveles de consumo de combustibles fósiles de la UE-15, que fue de 3.7 toneladas per cápita, tres veces mayor (Eurostat, 2002).

Por lo que hace al consumo de biomasa, se observa un ligero crecimiento de éste en términos absolutos durante el periodo de estudio. Sin embargo, el DMC per cápita de biomasa se redujo de 4 ton. a 3.2 ton. Esta disminución se debe principalmente al flujo de forraje para el ganado, que se compone principalmente del consumo directo de hierba por los rumiantes en pastizales permanentes y cuyo cálculo se ve afectado por una alta incertidumbre, ya que se estima indirectamente.

El consumo directo de forraje no se publica en las estadísticas agrícolas y, en el caso de México, se estimó siguiendo el procedimiento estándar utilizado por Eurostat (2002) con el fin de reducir el rango de incertidumbre. Así, esta caída del consumo de biomasa per cápita no debe relacionarse con mejoras tecnológicas o una disminución de las tierras utilizadas para la alimentación de ganado. De hecho, entre 1970 y 2003, los pastos permanentes se incrementaron ligeramente de 74 500 a 80 mil hectáreas debido al aumento del *stock* de ganado de 45 millones a 54 millones de cabezas.

Al relacionar el DMC con indicadores de desempeño económico como el PIB o PNB se puede evaluar la intensidad de uso de materiales en la economía y si la economía sigue un proceso de desmaterialización. Las economías se desmaterializan si hay una disminución de la cantidad de materiales extraído y utilizado. Cleveland y Ruth (1999) distinguen entre desmaterialización fuerte o relativa. La primera se refiere a la reducción absoluta de los patrones de extracción y consumo de materiales mientras que la segunda se observa si disminuye la cantidad de materiales extraídos y consumidos por cada unidad de valor económico producido. La Gráfica 4 muestra que la intensidad en el consumo de materiales en México fue bastante estable hasta 2003, a pesar de los cambios estructurales y la creciente importancia de las manufacturas en el PIB. El consumo de materiales fluctuó entre 1.8 y 2.2 kg de materiales por dólar producido. Se confirma así que no ha habido desmaterialización relativa —ni absoluta por supuesto— en la economía mexicana.

GRÁFICA 4
Intensidad material en México 1970-2003
 (en millones de toneladas)



Fuente: elaboración propia.

Puede asegurarse que la falta de innovación tecnológica ha sido la principal causa del poco progreso en la eficiencia material de la economía mexicana. No ha habido un proceso generalizado de innovación tecnológica en la economía y sólo unos pocos sectores –los orientados a la exportación– han sido capaces de cerrar la brecha tecnológica, mientras que la mayoría de la industria nacional no ha resuelto problemas estructurales profundamente arraigados como la falta de recursos e insuficiente inversión. De hecho, durante la década de 1980, la formación de capital fijo nacional en maquinaria y equipo registró una tasa de crecimiento anual negativo del 1%. A finales de la década de 1980, la inversión en maquinaria y equipo se recuperó con una tasa de crecimiento positiva. De 1988 a 2003, la tasa media de crecimiento anual fue del 6.7%, todavía por debajo de la tasa anual de 8% de la década de 1970 (Banco de México, 2007; INEGI, 2007).

A pesar de que la economía mexicana no ha logrado una desvinculación consistente entre el uso de los recursos y el crecimiento económico, la eficiencia en el uso de materiales en México es más favorable que en otros países latinoamericanos como Ecuador y Perú donde la intensidad material fue 4.2 y 8.5 kg/US\$ en 2003, respectivamente (Russi *et al.*, 2008). El caso de Chile es

significativo con una alta intensidad material de 46.3 kg/US\$ en 2000 (Giljum, 2004) debido a la importancia que la minería tiene en su economía, actividad económica intensiva en el uso de materiales. Argentina por su parte consumía 1.7 kg por dólar producido en ese mismo año (Pérez *et al.*, en revisión). Así, en comparación con otras economías de la región, México es más eficiente en materiales pero todavía se encuentra muy por debajo de la UE-15, cuya intensidad en el uso de materiales fue 1.2 kg/USD en 1980, mejorando a 0.8 kg/USD en 2000 (Eurostat, 2002).

Con el fin de analizar los principales determinantes del consumo de materiales en México se aplicó el modelo IPAT (Holdren y Ehrlich, 1971). Este sencillo modelo originalmente se concibió para explicar el impacto ambiental a partir de tres variables: la población, la riqueza y el nivel de tecnología. La ecuación IPAT utilizando el indicador de consumo de materiales ha sido formulado de la siguiente manera (Eurostat, 2002):

$$\text{DMC} = (\text{población}) * (\text{PIB/capita}) * (\text{DMC/PIB})$$

El Cuadro 3 muestra la evolución de las variables relevantes en diferentes sub-periodos. Durante todo el periodo (1970-2003) el consumo doméstico de materiales se incrementó en 194%. Este crecimiento estuvo influenciado por un crecimiento poblacional del 102%, un crecimiento de la afluencia del 62% y una ganancia en eficiencia del 10%. Así, el crecimiento de la población fue la principal fuerza motriz del consumo de materiales en todo el periodo.

CUADRO 3
*Evolución de los principales componentes
del modelo IPAT para México, 1970-2003*

Periodo	DMC	Población	PIB/Población	DMC/PIB
1970 -2003	2.94	2.02	1.62	0.90
1970 -1980	1.76	1.34	1.43	0.92
1980 -1990	1.28	1.23	0.97	1.10
1990 -2003	1.30	1.23	1.16	0.91

Fuente: elaboración propia.

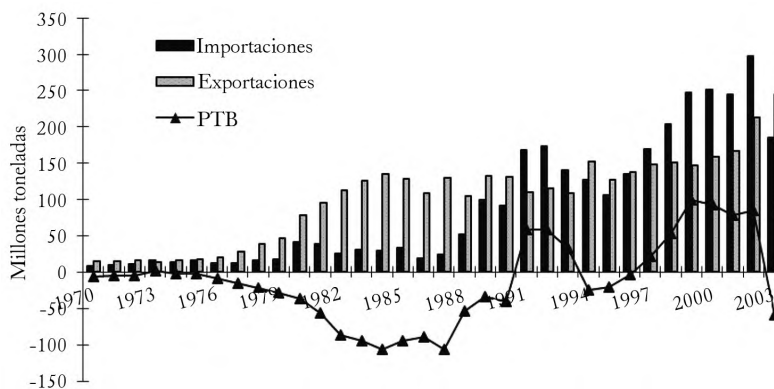
Analizando los subperiodos, se observa un cambio en los factores determinantes. Llama la atención que en la década de 1970, el PIB per cápita fue el factor determinante del consumo de materiales, apoyado indudablemente por el auge petrolero. En ese periodo la eficiencia de uso de los recursos aumentó aunque a un ritmo menor (8%). En las siguientes dos décadas el crecimiento demográfico fue el principal factor impulsor del consumo de materiales. En la década de 1980, cuando la economía estaba en recesión, tanto el PIB per cápita como la eficiencia disminuyeron. Finalmente, en el periodo más reciente (1990-2003), el PIB creció lentamente mientras que las mejoras en el uso de recursos aumentaron nueve por ciento.

El patrón del comercio exterior de México y sus consecuencias físicas

Así como en la extracción y consumo de recursos naturales, el crecimiento del comercio exterior de México —expresado en toneladas— durante el periodo de estudio fue dramático. Las importaciones crecieron de 8.5 a 185 millones de toneladas anuales mientras que las exportaciones lo hicieron de 14 a 243 millones de toneladas, lo que resulta en una tasa de crecimiento anual de 9.8% y 9.05% respectivamente.

Como se observa en la Gráfica 5, se distinguen dos grandes periodos en el desarrollo del comercio exterior de México: un primero que va de 1970 a 1986 y que se caracterizó por un rápido crecimiento de las exportaciones impulsadas principalmente por el auge del petróleo; mientras que las importaciones se mantuvieron prácticamente constantes, debido a la política de sustitución de importaciones. El segundo periodo, a partir de 1987, se caracterizó por un rápido crecimiento de las importaciones debido a la reducción de las barreras comerciales y a la firma de acuerdos comerciales con otros países. En esta fase, las exportaciones crecieron a un ritmo mucho más lento. Como consecuencia, la balanza de comercio físico (PTB) —que se obtiene restando las exportaciones de las importaciones— también experimentó un cambio a finales de 1980. Pasó de un saldo negativo (exportaciones netas) a un saldo positivo (importaciones netas), sólo a excepción de los años 1994-1995 cuando la economía mexicana experimentó una crisis financiera y el año 2003.

GRÁFICA 5
Importaciones y exportaciones físicas
y balance de comercio físico 1970-2003 (en millones de toneladas)



Fuente: elaboración propia.

Por otra parte, la balanza comercial monetaria (MTB) fue negativa durante la mayor parte del periodo, a excepción de unos años críticos, como 1982-1989 y 1995-1996, cuando las importaciones se vieron limitadas debido a las contracciones de la demanda interna (Moreno-Brid *et al.*, 2005). Curiosamente, durante la década de 1970 las exportaciones físicas, fueron mayores que las importaciones, mientras que el valor de las exportaciones fue menor que el de las importaciones, resultando tanto en un saldo negativo monetario como en una balanza comercial física negativa, lo que indica la posición desfavorable de la economía mexicana en el mercado mundial en esa década.

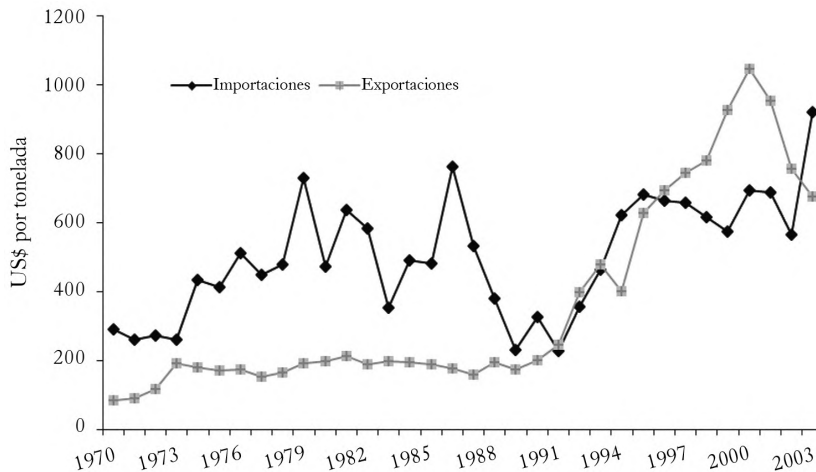
Este desequilibrio se hace más evidente al analizar los precios unitarios de las importaciones y las exportaciones. La Gráfica 6 muestra el precio unitario (dólar por tonelada) de las importaciones y exportaciones mexicanas en el periodo 1970-2003. Se observa que durante la década de 1970 y hasta 1980, el precio por tonelada de las importaciones fue considerablemente más alto que el precio por tonelada de las exportaciones. Esta diferencia se redujo notablemente a partir de 1982 cuando el precio unitario de las exportaciones aumentaron más rápidamente que el precio de las importaciones (de 86 \$/ton, a 1,046 \$/ton en 2000 y 676 \$/ton en 2003). En la década de 1970, México fue principalmente una “economía extractiva” (Bunker, 2007; Giljum y Eisenmenger, 2004), especializada en la

venta de materias primas a bajo precio en el mercado mundial, y con una fuerte dependencia de las importaciones de productos finales caros.

El efecto global de esta situación desfavorable fue aliviado por una política de sustitución de importaciones, que dificultó la entrada de importaciones, sin afectar las grandes exportaciones de recursos naturales a bajo precio. Además de que este tipo de modelo económico es intensivo en uso de recursos y generación de contaminación, da lugar a una falta de desarrollo, infraestructura insuficiente y bajos ingresos de los hogares y comunidades, haciendo además muy vulnerable al país a las fluctuaciones del mercado (Bunker, 2007). Para fines de comparación, se observa que en la UE-15 el precio promedio de una tonelada importada fue de \$1,559 en 2000, alrededor de un tercio del precio de una tonelada exportada, \$5,306, ambos valores significativamente superiores a los de México (Eurostat, 2002).

GRÁFICA 6

Evolución de los precios unitarios de las importaciones y exportaciones en México 1970-2003 (precios constantes por tonelada, 2000)



Fuente: elaboración propia.

La principal causa del cambio notable en la estructura del comercio de México a partir de la década de 1980 se encuentra en la composición de los bienes comercializados con el exterior. Más allá del crecimiento general del comercio exterior mexicano, la composición de las importaciones y las exportaciones medidas en toneladas, también experimentó cambios importantes en el periodo de estudio. En la década de 1970, los minerales —que comprenden tanto las materias primas, productos semielaborados y productos finales— dominaba las importaciones (37%). En particular, los productos semielaborados de metal y metales en bruto aportaban tres cuartas partes de las importaciones de mineral total. El segundo flujo más importante de importaciones fueron los combustibles fósiles (36%).

Para el 2003, los minerales aumentaron su importancia en las importaciones (64%). A su vez, la composición de las importaciones cambiaron notablemente ya que los productos semielaborados y terminados representaron 87% del total de importaciones de minerales, mientras que los minerales en bruto representaron sólo el 10%. Este cambio hacia importaciones de productos más elaborados fue la causa del aumento de los precios unitarios de las importaciones. Cobra relevancia el hecho de que la mayoría de estos productos fueron utilizados por la industria de maquila, situación que se explica con detalle más adelante. Por otra parte, las importaciones de biomasa han aumentado y en 2003 fueron el segundo flujo importado más importante (25%), después de los minerales. Esto es sin duda el reflejo de los cambios estructurales que se han vivido en México en los últimos 30 años. En particular, el aumento de las importaciones de biomasa es el reflejo de un proceso de desmantelamiento del sector agrícola en México, iniciado en la década de 1990 (Appendini, 2001 y 2006) y la desaparición de las barreras arancelarias a productos y granos básicos para la alimentación; que se inicia con la entrada al GATT y que culmina con la firma del Tratado de Libre Comercio con América del Norte en 1994. Por ejemplo, la tarifa arancelaria del maíz —cultivo básico en la dieta del mexicano— se redujo hasta cero en 2008 (Nadal, 2002).

Por lo que hace a las exportaciones, en 1970 la categoría de minerales representaba la mayor proporción de las exportaciones, en particular, materias primas minerales que representaron el 49% del total de las exportaciones seguidas por los combustibles fósiles, que representaron el 27%. Este patrón cambió rápidamente durante esta década. Para 1978, los combustibles fósiles

representaban 53% de las exportaciones totales debido principalmente al auge del petróleo. Desde entonces, los combustibles fósiles han sido la fracción dominante, aunque su importancia relativa ha disminuido en los últimos años. En 2003, representaron 50% del peso total de las exportaciones seguidas de los minerales (43%), dominado ahora por los productos metálicos que significaron 34% de las exportaciones totales. Esta tendencia también se aprecia en términos monetarios. Así, México ha pasado de ser un país puramente exportador de petróleo y materias primas a ser un exportador también de productos manufacturados. En 2003, la industria manufacturera aportó 42% de las exportaciones mientras que en 1970 la proporción fue sólo de 10 por ciento.

¿Cómo se explica este auge de las exportaciones no petroleras? Aparte de la política de liberalización del comercio y de la inversión extranjera directa (IED), la disminución de la demanda interna obligó a las empresas a mirar hacia los mercados externos. Al final del periodo de estudio, la demanda del exterior era el componente más dinámico de la demanda de México. Otro factor clave que explica el impresionante crecimiento en el comercio no petrolero es la industria maquiladora, particularmente desde la década de 1990 cuando este tipo de industria empieza a ganar importancia económica. En 2003, 47% de las exportaciones de México fueron producidas por empresas de ensamblaje que utilizan insumos importados (INEGI, 2006). Los componentes que cruzan las fronteras de México para ser ensambladas por esta industria se contabilizan como importaciones, mientras que los bienes finales, una vez ensamblados se envían al extranjero y por lo tanto, se contabilizan como exportaciones. De acuerdo con De la Garza (2005), entre 96 y 98% de los insumos totales utilizados en estas industrias son importados. La maquila fue la responsable no sólo del notable aumento del comercio exterior, sino también del cambio en su composición. Según las estadísticas de Comercio Exterior (Bancomext, 2004) las exportaciones de las actividades de montaje representaron 47.7% del total de las exportaciones mexicanas y 35.3% del total de las importaciones mexicanas, en términos monetarios. Estas actividades se concentraron en los sectores automotriz, de autopartes y electrónica (Dussel, 2003).

Mucho se ha discutido sobre los efectos positivos de la industria maquiladora en la economía nacional. Como bien se ha documentado, los salarios que prevalecen en este tipo de industria son bajos y hay una falta de encadenamiento entre la industria maquiladora y la industria nacional debido a que la mayoría

de sus insumos son importados. La industria maquiladora no ha tenido un efecto encadenamiento sobre el resto de la economía –el contenido promedio de insumos nacionales es inferior a 5%– y su contribución en la creación de valor agregado ha sido bastante limitada toda vez que esta industria se concentra en segmentos de bajo valor agregado (Contreras y Munguía, 2007).

Estas actividades han tenido un fuerte impacto ambiental debido principalmente a su ubicación geográfica. La mayoría de las plantas de montaje se encuentran en las regiones fronterizas del norte de México, zonas semiáridas, donde la combinación de las condiciones meteorológicas, las desventajas topológicas, la dinámica de industrialización y el crecimiento de la población han ejercido una presión creciente sobre el medio ambiente y los recursos naturales, principalmente sobre el agua, bien ambiental escaso y que se ha convertido en un fuerte problema (Stromberg, 2005).

Para concluir y considerando los patrones de comercio físico recientes, la economía mexicana presenta también diferencias con otras economías latinoamericanas, como Ecuador, Colombia y Argentina. Mientras que estos países siguen el patrón típico de “economías extractivas”, la dependencia de México de las exportaciones de materias primas y recursos naturales disminuyó en el periodo analizado. Estos hallazgos colocan a México en una situación intermedia entre una típica economía periférica (con un bajo ingreso per cápita y una abundancia de recursos naturales) y un país industrializado (con un fuerte sector industrial y de servicios y con una alta dependencia de las importaciones de minerales, combustibles fósiles y en general, de materias primas). La economía mexicana es entonces un modelo híbrido de “economía extractiva”, ya que sigue extrayendo grandes cantidades de petróleo crudo para la exportación, y de “economía productiva”, ya que produce una cantidad creciente de productos manufacturados destinados al mercado internacional. ¿Logrará México dar el salto y convertirse en una economía basada en procesos de alto valor agregado?

Conclusiones

Este estudio presenta por primera vez información sobre los flujos de materiales de la economía mexicana y aporta nueva evidencia a otros estudios realizados para

la región de América Latina. A partir de la aplicación de la metodología MFA se han identificado aspectos biofísicos importantes de la economía mexicana. Los resultados obtenidos son comparables a nivel internacional. En particular, los indicadores de MFA resultan útiles para analizar de manera indirecta la presión que esta economía ejerce sobre su dotación de recursos naturales. En este sentido, la primera conclusión es que la cantidad de materiales que entran en la economía han ido en constante aumento, a pesar de los cambios estructurales y el modesto crecimiento económico. La mayoría de estos materiales que se usan en la economía son extraídos dentro del territorio nacional. A partir de la década de 1990, el flujo más predominante ha sido el de los materiales de construcción, lo que hace que la estructura biofísica de México se asemeje a la de una economía industrializada.

Durante el periodo de estudio, el crecimiento de la población y las industrias destinadas a la exportación fueron los principales motores de la creciente utilización de los recursos naturales en México. No hubo una mejora significativa de la eficiencia en el uso de recursos en ausencia de un cambio tecnológico generalizado en la economía. El rápido crecimiento en el uso de los recursos no se ha reflejado en mejoras en el nivel de vida de la población y la distribución de los recursos.

Las reformas económicas llevadas a cabo en México en la década de 1980 se basaron en el uso intensivo de los recursos naturales: en primer lugar, la extracción nacional de materiales en México se triplicó debido a un rápido aumento de minerales para la construcción y la extracción de combustibles fósiles. En segundo lugar, la cantidad de materiales comercializados aumentó considerablemente a partir de finales de la década de 1980, cuando México redujo drásticamente todas las barreras al comercio: las importaciones crecieron en un factor de 22 durante el periodo, mientras que las exportaciones aumentaron en un factor de 17. El impresionante crecimiento de las exportaciones de la década de 1970 se basó únicamente en los combustibles fósiles, mientras que el aumento ocurrido a partir de finales de la de 1980 se debió al aumento de las exportaciones de productos manufacturados. A partir de los indicadores MFA se observó que México ha pasado de ser un país exportador de petróleo para convertirse en un exportador de productos manufacturados y en este proceso, la industria maquiladora ha desempeñado un papel crucial. Mientras que el

auge del petróleo estuvo basado en la explotación de un recurso natural, el nuevo auge de las exportaciones se ha basado en las industrias maquiladoras que se han establecido en México atraídas por los bajos costes de mano de obra. Gracias a este auge, la economía mexicana presenta un patrón diferente al de otras economías de América Latina. Su dependencia de las exportaciones de materias primas en la balanza comercial monetaria disminuyó durante el periodo analizado, lo que sitúa a México entre una economía meramente “extractiva” y una “economía productiva” (Bunker, 2007).

A pesar de los esfuerzos por diversificar las exportaciones, las exportaciones de crudo representaban todavía el 50% de las exportaciones totales (medidas en toneladas) a finales del periodo de estudio. El hecho de que México siga basando su crecimiento económico en gran medida en el agotamiento de un recurso natural no renovable, plantea serios problemas para la sostenibilidad a medio y largo plazo de la economía mexicana. Si ya la literatura económica ha debatido ampliamente la efímera prosperidad económica basada en el agotamiento de los recursos naturales, el análisis biofísico de la economía mexicana, añade información sobre las cantidades reales de los recursos utilizados en sus procesos económicos.

Epílogo

A la luz de un contexto de crisis económica a escala internacional y de una evolución errática de la economía mexicana en los últimos años (en 2008 creció sólo 1.5% en 2009 cayó a -6.1% y en 2010 creció 5.5% en términos reales, según el Banco Mundial (2011), la tendencia general de fuerte crecimiento en la extracción y uso de materiales en México observada en el periodo 1970-2003, probablemente se ha modificado. Se esperaría entonces una disminución del *input* de recursos materiales, sobre todo a partir de 2007, toda vez que su componente más dinámico –las exportaciones– ha disminuido.

Analizando la evolución reciente de las exportaciones de petróleo crudo y de manufacturas provenientes de la maquila, que son los productos exportados que habían tenido una mayor importancia –en términos físicos– en los últimos años del estudio, encontramos que, por una parte, el volumen de exportaciones

de petróleo crudo (material que en 2003 representaba 50% de las exportaciones totales medidas en toneladas) ha caído en 26.22% entre 2003 y 2010 (Sener, 2011); situación que va acompañada de una caída en el volumen de reservas de hidrocarburos de 10.3% (INEGI, 2011). Por otra parte, las exportaciones de la industria maquiladora (medidas en millones de dólares)⁶ registraron una disminución del ritmo de crecimiento a partir de 2007, acusando una tasa negativa de crecimiento de -1.9% en 2009 (último dato disponible).

Analizando el factor interno determinante del crecimiento en el uso de los recursos en ésta economía, el crecimiento poblacional, éste ha disminuido notablemente en los últimos años. Durante el periodo de estudio, la población creció a una tasa promedio anual de 2.1%, gracias al dinamismo observado en las décadas de 1970 y 1980. Actualmente, la población mexicana crece a un ritmo menor, con una tasa promedio anual entre 2005 y 2010 de 1.8% (INEGI, 2011).

Por otra parte, el flujo de materiales predominante en esta economía, el de los minerales de la construcción, seguramente también se ha contraído en estos últimos años debido a las variaciones recientes de la actividad económica del sector de la construcción. Mientras el sector creció a tasas de hasta 7.5% (2006) a partir del 2008 se ha contraído registrando tasas negativas de crecimiento. En 2009, el PIB de este sector decreció 6.3% (INEGI, 2011). Otro indicador clave de esta actividad es el consumo de cemento. Según datos de Canacem (2011), el consumo nacional de cemento creció de manera constante hasta 2007, cuando registró su valor más alto (36.8 MM ton). A partir de este año, el consumo decreció llegando a registrar en 2010 un valor de 33.9 MM ton, lo que supone una caída de 7.8% en tres años.

⁶ Para saber el valor en toneladas es necesario actualizar las cuentas MFA para México.

Bibliografía

- Adriaanse, A., S. Brigenzu, A. Hammond, Y. Moriguchi, E. Rodenburg, D. Rogich y H. Schuetz (1997), *Resource flows: The material basis of industrial economies*, Washington, DC., World Resource Institute.
- Aguayo, F. y P.K. Gallagher (2005), “Economic reform, energy and development: the case of Mexican manufacturing”, *Energy Policy*, núm. 33, pp. 829-837.
- Amann, Christof, Willibald Bruckner, Marina Fischer-Kowalski y Clemens M. Grünbühel (2002), “Material flow accounting in Amazonia. A tool for sustainable development. Amazonia 21”, *Social Ecology*, working paper 63, IFF.
- Appendini, Kirsten A. (2001), *De la milpa a los tortibonos. La reestructuración de la política alimentaria en México*, México, Instituto de Investigaciones de las Naciones Unidas, El Colegio de México.
- Bancomext (2002), *World Trade Atlas*, México, Banco de Comercio Exterior.
- (2004), *World trade Atlas*, México, Banco de Comercio Exterior.
- Bunker, S. (2007), “Natural values and the physical inevitability of uneven development under capitalism”, en Hornborg A., McNeill J. Robert, Martinez Alier J. (eds.), *Rethinking Environmental History, World-System History and Global Environmental Change*, Estados Unidos, Altamira Press, pp. 239-258.
- Cárdenas, Enrique (1996), *La política económica en México, 1950-1994*, México, Fondo de Cultura Económica/Colegio de México.
- Chávez, M. (2006), “La quimera neoliberal mexicana”, en Alejandro Nadal E. y F. Aguayo (eds.), *Experiencias de crisis y estrategias de desarrollo: autonomía económica y globalización*, México, El Colegio de México.
- Cleveland, C. y Ruth M. (1999), “Indicators of dematerialization and the materials intensity of use”, *Journal of Industrial Ecology*, vol. 2(3), pp. 15-50.
- Contreras, Óscar F y Munguía Luis Felipe (2007), “Evolución de las maquiladoras en México. Política industrial y aprendizaje tecnológico”, *Región y Sociedad*, Edición Especial, vol. XIX, El Colegio de Sonora, pp. 71-87
- Comisión Técnico Consultiva de Coeficientes de Agostadero (Cotecoca) (1987), “Memorias de coeficientes de agostadero (1972-1986)”, México, SARH.
- De la Garza, Enrique T. (2005), “La maquila en México: aspectos generales”, en De la Garza, Enrique T. (ed.), *Modelos de producción en la maquila de exportación. La crisis del toyotismo precario*, México, UAM-Iztapalapa/Plaza y Valdés, pp. 1-19.
- Dussel, Enrique Peters (2002), “México en la globalización y la apertura comercial”, en Calva José Luis (ed.), *Política económica para el desarrollo sostenido con equidad*, tomo II, México, Casa Juan Pablos/Universidad Autónoma de México.

- Dussel, Enrique Peters (2003), “Ser maquila o no ser maquila. ¿Es ésa la pregunta?”, *Comercio Exterior*, vol. 53(4), pp. 328-336.
- Eisenmenger, N. y Schandl Heinz (2006), “Regional patterns in global resource extraction”, *Journal of Industrial Ecology*, 10(4), pp. 133-147.
- Eisenmenger, Nina, Ramos-Martin J., Schandl Heinz (2007), “Transition in a changed context: patterns of development in a globalizing world”, en Fischer-Kowalski M., Haberl Helmut (eds.), *Socioecological Transitions and Global Change: Trajectories of Social Metabolism and Land Use*, Edward Elgar, Cheltenham, pp. 179-222.
- Epstein, Paul R. y Selber Jesse (2002), *Oil. A life cycle analysis of its health and environmental impacts*, Boston, Harvard Medical School, The Center for Health and the Global Environment.
- Eurostat (2001), *Economy-wide material flow accounts and derived indicators: A methodological guide*, Luxemburg, Office for Official Publications of the European Communities.
- Eurostat (2002), *Material use in the European Union 1980–2000: indicators and analysis*, Luxemburgo, European Commission.
- Fischer-Kowalski, M. (1998), “Society’s Metabolism: The Intellectual History of Material Flow Analysis, Part 1: 1860-1970”, *Journal of Industrial Ecology*, vol. 2(1), pp. 61-78.
- Fischer-Kowalski, M. y W. Hüttler (1998), “Society’s Metabolism. The Intellectual History of Material Flow Analysis, Part II, 1970-1998”, *Journal of Industrial Ecology*, vol. 2(4), pp. 107-136.
- Garza, Gustavo (1999), “Global economy, metropolitan dynamics and urban policies in Mexico”, *Cities*, vol. 16(3), pp. 149-170.
- Gately, Mark (2007), “The EROI of U.S. offshore energy extraction: a net energy analysis of the Gulf of Mexico”, *Ecological Economics*, núm. 63, pp. 355-364.
- González-Martínez, Ana Citlalic (2008), “Social metabolism and patterns of material use in Mexico, South-America and Spain”, tesis doctoral, Doctorado en Ciencias Ambientales, Universitat Autònoma de Barcelona, España.
- Giljum Stefan (2004), “Trade, material flows and economic development in the South: The example of Chile”, *Journal of Industrial Ecology*, núm. 8, pp. 241-261.
- Giljum, Stefan y Eisenmenger Nina (2004), “North-South trade and the distribution of environmental goods and burdens: A biophysical perspective”, *Journal of Environment and Development*, núm. 13, pp. 73-100.
- Giljum, S., Behrens A., Jölli D., Vogt K., Kovanda J. y Niza S. (2005), *MOSUS. material input data for the GINFORS model. Technical report. Project of the International Human Dimensions Programme (IHDP-IT)*, Project number: E/2003/01.

- Guillén, H. (2006), “El modelo mexicano de desarrollo: balance y alternativas”, en Nadal Alejandro y Francisco Aguayo (eds.), *Experiencias de crisis y estrategias de desarrollo. Autonomía económica y globalización*, México, El Colegio de México.
- Holdren, John P. y Ehrlich Paul R. (1971), “Impact of population growth”, *Science*, vol. 171, núm. 3977, pp. 1212-1217.
- INEGI (1993), *Anuario estadístico de los Estados Unidos Mexicanos*, México, INEGI.
- , EHCEN (1998), *Estadísticas históricas del comercio exterior de México (1975-1985)*, Aguascalientes, México, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.
- INEGI (1999), *Estadísticas históricas de México*, vols. 1 y 2, México, INEGI.
- (2000), *Anuario estadístico de los Estados Unidos Mexicanos*, México, INEGI.
- Jaramillo, Víctor V. (1994a), *Revegetación y reforestación de las áreas ganaderas en las zonas áridas y semiáridas de México*, México, Comisión Técnico Consultiva de Coeficientes de Agostadero, SARH.
- (1994b), *Revegetación y reforestación de las áreas ganaderas en las zonas templadas de México*, México, Comisión Técnico Consultiva de Coeficientes de Agostadero, SARH.
- (1994c), *Revegetación y reforestación de las áreas ganaderas en las zonas tropicales de México*, México, Comisión Técnico Consultiva de Coeficientes de Agostadero, SARH.
- Martínez, Alier J. (2002), *The environmentalism of the poor: A study of ecological conflicts and valuation*, Northampton, Edward Elgar.
- Masera et al. (2005), *Multiscale analysis of fuelwood “hotspots” using the wisdom approach: A case study for Mexico*, Roma, FAO Wood Energy Programme.
- Matthews, Emily, C. Amann, S. Brigenzu, M. Fischer-Kowalski, W. Hütler, R. Kleijn, Y. Moriguchi, C. Ottke, E. Rodenburg, H. Schandl, H. Schütz, E. van der Voet y H. Weisz (2000), *The weight of nations. Material outflows from industrial economies*, Washington DC., World Resource Institute.
- Moreno-Brid, J., Rivas J. Valdivia, Santamaria J. (2005), *Mexico: economic growth exports and industrial performance after NAFTA*, México, CEPAL, Naciones Unidas.
- Moriguchi, Y. (2007), “Material flow indicators to measure progress toward a sound material-cycle society”, *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 9(2), pp. 112-120.
- Muradian, R., J. Martínez-Alier, Correa H. (2003), “International capital versus local population: The environmental conflict of the Tambogrande mining project, Peru”, *Society and Natural Resources*, vol. 16, pp. 775-792.
- Nadal, Alejandro (2002), *Corn in NAFTA: Eight years after. A Research report prepared for the North American Commission for Environmental Cooperation*, Science, Technology and Development Program, El Colegio de México.

- Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD) (2008), *Measuring Material Flows and Resource Productivity. The OECD Guide*, París, OECD.
- Pérez, Manrique P., Brun Julien, González-Martínez Ana Citlalic, Walter Mariana y Martínez-Alier J. (en revisión) (2011), “Analyzing the biophysical performance of Argentina using the MFA methodology (1970-2009)”, enviado a *Journal of Industrial Ecology*, el 1 de noviembre de 2011.
- Presidencia de la República (2005), “Anexo estadístico del quinto informe de gobierno”, México, Gobierno de los Estados Unidos Mexicanos.
- Russi, D., A.C. González-Martínez, J.C. Silva Macher, S. Giljum, M.C. Vallejo, J. Martínez-Alier (2008), “Material Flows in Latin America: A comparative Analysis of Chile, Ecuador, Mexico and Peru (1980-2000)”, *Journal of Industrial Ecology*, vol. 12, núm. 5-6, pp. 704-720.
- Sachs, Jeffrey D. y Warner Andrew M. (1999), “The big push, natural resource booms and growth”, *Journal of Development Economics*, vol. 59, pp. 43-76.
- SPP (1971), *Anuario estadístico del comercio exterior mexicano*, México, Secretaría de Industria y Comercio, Dirección General de Estadística.
- (1973), *Anuario estadístico del comercio exterior mexicano*, México, Secretaría de Industria y Comercio, Dirección General de Estadística.
- (1975), *Anuario estadístico del comercio exterior mexicano*, México, Secretaría de Industria y Comercio, Dirección General de Estadística.
- Stern, David I. (2001), “Progress on the environmental Kuznets curve?”, *Environment and Development Economics*, núm. 3, pp. 173-196.
- Stromberg, P. (2005), “La industria maquiladora mexicana y el medio ambiente; una revisión de los problemas”, en Carrillo J., Schatan C. (eds.), *El medio ambiente y la maquila en México: un problema ineludible*, México, Colección Libros de la CEPAL, vol. 83, United Nations, pp. 21-78.
- Servicio Geológico Mexicano (SGM) (1988), *Anuario estadístico de la minería mexicana*, México, Secretaría de Economía.
- (1999), *Anuario estadístico de la minería mexicana*, México, SE.
- (2000), *Anuario estadístico de la minería mexicana*, México, México, SE.
- (2001), *Anuario estadístico de la minería mexicana*, México, México, SE.
- (2003), *Anuario estadístico de la minería mexicana*, México, México, SE.
- (2004), *Anuario estadístico de la minería mexicana*, México, México, SE.
- Székely, Miguel (2005), “Pobreza y desigualdad en México entre 1950 y 2004”, *El Trimestre Económico*, LXXII (4), pp. 913-931.
- Ten Kate, A. y De Mateo F. (1989), “Apertura comercial y estructura de la protección en México: estimaciones cuantitativas de los ochenta”, *Comercio Exterior*, núm. 39, pp. 312-329.

- Vallejo, María Cristina (2010); “Biophysical structure of the Ecuadorian economy, foreign trade, and policy implications”, *Ecological Economics*, vol. 70, pp. 159-169.
- Vallejo, María Cristina, Mario A. Pérez Rincón y Joan Martínez-Alier (2011), “Metabolic Profile of the Colombian Economy from 1970 to 2007”, *Journal of Industrial Ecology*, vol. 15, pp. 245-267.
- Weisz, Helga, Fridolin Krausmann, Christof Amann, Nina Eisenmenger, Karl-Heinz Erb, Klaus Hubacek y Marina Fischer-Kowalski (2006), “The physical economy of the European Union: Cross-country comparison and determinants of material consumption”, *Ecological Economics*, vol. 58, pp. 676-698.

Páginas en internet

- Banco Mundial, Economic Indicators, Washington DC. [<http://data.worldbank.org/indicator>], fecha de consulta: 16 de noviembre de 2011.
- Canacem, Consumo Nacional de Cemento 2000-2010 [http://www.canacem.org.mx/la_industria_del_cemento.htm], fecha de consulta: 22 de noviembre de 2011.
- FAO, FAOSTAT, Statistical database [<http://faostat.fao.org>], fecha de consulta: diciembre de 2003.
- INEGI, Banco de Información Económica, Gobierno de los Estados Unidos Mexicanos (2006), México [www.inegi.gob.mx], fecha de consulta: 16 de noviembre de 2011.
- , Censos de población y vivienda (2008) [<http://www.inegi.gob.mx/inegi/default.aspx?s=est&c=10202>], fecha de consulta: 16 de noviembre de 2011.
- (2010), *Anuario estadístico de los Estados Unidos Mexicanos* [<http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/espanol/sistemas/sisnav/default.spx?proy=aeum&cedi=0000&ent=00>], fecha de consulta: 21 de noviembre de 2011.
- Sagarpa (2005), Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta (SIACON) [<http://www.siap.sagarpa.gob.mx/arcomdownload.html>], fecha de consulta: diciembre de 2003.
- Semarnat (2006), Sistema Nacional de Información Ambiental y de Recursos Naturales [www.semarnat.gob.mx], fecha de consulta: diciembre de 2003.
- Sener, Sistema de información energética [www.sener.gob.mx], fecha de consulta: noviembre de 2011.
- Sener, Sistema de información energética (SIE), México [www.sie.energia.gob.mx], fecha de consulta: diciembre de 2003.
- USGS (2003), Minerals Yearbook [<http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/>], fecha de consulta: diciembre de 2003.

CAPÍTULO VII

La implementación de la ecología industrial en el corredor industrial de Altamira-Tamaulipas

David Lule Chable
Gemma Cervantes Torre-Marín
Graciela Carrillo González

En este capítulo se muestra un ejemplo de simbiosis industrial en el corredor industrial Altamira-Tampico y una aproximación de cómo sistematizar las sinergias que se dan en la red de industrias a fin de identificar factores clave que ayudan a promover la ecología industrial en un sistema industrial.

La zona del corredor industrial Altamira-Tampico experimentó los primeros asentamientos industriales durante la década de 1960, pero es hasta la de 1980 cuando se establece un mayor número de empresas en la zona, la mayoría de ellas formaban parte del sector petroquímico. Debido a la contaminación que este tipo de industria genera, la comunidad industrial del corredor se organizó desde hace más de tres décadas para adoptar iniciativas y proyectos relacionados con la minimización de los impactos negativos de la industria petroquímica, varios de ellos liderados por la Asociación de Industriales del Sur de Tamaulipas (AISTAC).

El área de Análisis y Gestión Socioeconómica de las Organizaciones (AGSEO) de la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad-Xochimilco (UAM-X) y el Grupo de Investigación en Ecología Industrial (GIEI) del Instituto Politécnico Nacional (IPN) han acompañado los esfuerzos, a partir de 1997, que desde entonces se han desarrollado en la línea de ecología industrial. En este capítulo se describen las iniciativas desarrolladas entre 2010-2011 para reforzar la sinergia de subproductos existente en el corredor.

El objetivo del proyecto fue identificar los factores que determinan las condiciones, para que se dé la posibilidad de establecer estrategias de innovación tecnológica y organizacional que conlleven hacia proyectos ambientales de ecoeficiencias, reciclaje de materiales y sinergias de subproductos. Como

resultado se identificaron 64 sinergias y ecoeficiencias entre las actuales y las identificadas como potenciales que se propusieron implementar.

Entorno industrial

Al Sur del estado de Tamaulipas, en la región del Golfo de México, se ubican las ciudades de Tampico, Madero y Altamira. Esta región posee una población de aproximadamente 850 mil habitantes y es reconocida como una de las zonas industriales con mayor actividad económica en México. En esos tres municipios se concentra la mayor actividad económica del estado y en él se encuentra el denominado corredor industrial Altamira-Tampico dentro del cual se encuentran establecidas las plantas más grandes de la industria petroquímica del país.

La desembocadura del río Tamesí, el sistema lagunar Champayán y parte de la cuenca baja del río Panuco constituyen la principal fuente natural de abasto de agua de la zona industrial y es el cuerpo receptor de la mayoría de las aguas residuales de la zona industrial y su zona conurbada. Debido a la importancia del ecosistema se han instalado plantas de tratamiento de agua y programas de reciclaje y recuperación de agua en las industrias (NOM-033-PESC-2003, 2004).

En la región se encuentran establecidas más de 30 plantas industriales con una capacidad instalada de tres millones de toneladas al año. Se exportan en promedio entre 50 y 60% de la producción en 55 países del mundo. La inversión supera los cuatro mil millones de dólares y genera más de diez mil empleos. Las empresas ubicadas en el corredor industrial son líderes nacionales en la producción de: negro de humo, resinas termoplásticas, pigmento blanco, PTA, PET, PP, ABS, PVC y hules sintéticos. La refinería Madero, la infraestructura del parque industrial de Altamira y el complejo industrial portuario dan soporte a la distribución y manufactura de estos productos y se les puede considerar como componentes esenciales que garantizan la operación de las empresas (AISTAC, 2011).

Muchas compañías, además de cumplir con la normatividad aplicable y vigente para cada una de ellas, aplican los criterios de ISO 9000 e ISO 14000 y están certificadas en estos estándares o se encuentran en proceso de certificación, incluso cuentan con premios como: premio nacional de calidad, premio nacional de exportación, premio nacional al mérito ecológico, y responsabilidad integral.

La Asociación de Industriales del sur de Tamaulipas (AISTAC) se constituyó en noviembre de 1980 por la iniciativa y la necesidad de un grupo de industriales con el objetivo de propiciar escenarios que permitieran a los asociados mejorar sus condiciones de trabajo y buscar la interacción con las autoridades y la sociedad en las decisiones, regulaciones y actividades que incidían en el desarrollo industrial de la región como fueron en su momento la falta de infraestructura, asentamientos urbanos, contacto con proveedores, mantenimiento del equipo y sistemas de emergencia (AISTAC, 2011).

El surgimiento y evolución de la AISTAC ha estado estrechamente relacionado con el desarrollo del corredor Industrial. Para 1998, la AISTAC contaba con 21 empresas afiliadas, en 2003 se incrementó este número a 26 empresas afiliadas, en 2004 contaba con 20 empresas; actualmente cuenta con 29 empresas afiliadas de la zona industrial de Tampico-Altamira. En 2004 al menos 50% de las empresas del corredor industrial tenían el certificado de industria limpia, 50% se encontraban certificados en ISO 14000 y 100% de las organizaciones contaban con la certificación ISO 9000. Este porcentaje se ha mantenido incluso la certificación de industria limpia ha aumentado y aunque existan empresas sin certificación ISO 14000, sus sistemas de gestión ambiental están regidos por estos estándares (Lule y Cervantes, 2011).

Siendo que, la mayoría de las empresas químicas y petroquímicas enfrentan problemas y necesidades similares, la aportación de AISTAC, radica en la creación de seis comités para el desarrollo de intercambio de experiencias y canalización de esfuerzos en la búsqueda de soluciones de los retos impuestos diariamente en la industria y que son sin duda la columna vertebral de la asociación (AISTAC, 2011). Estos comités son:

- SIPAAISTAC: Comité de Seguridad Industrial y Protección Ambiental.
- MEDAISTAC: Comité Médico.
- GERAISTAC: Comité de Gerentes.
- CRHAISTAC: Comité de Recursos Humanos.
- COMAISTAC: Comité de Mantenimiento.
- COLCEAISTAC: Comité de Logística y Comercio Exterior.
- COCAISTAC: Comité de Calidad.

Las empresas AISTAC pertenecen a consorcios internacionales como son: BASF, CABOT, Crompton, DUPONT, GE, M&G, REPSOL, Iberdrola, ALPEK y KUO. Y a corporativos nacionales como: Mexichem, ALFA, CYDSA, DESC, INFRA y Xignux.

El proyecto de sinergia de subproductos en el corredor Tampico-Altamira (1997-1999) y los talleres de ecoeficiencias (1998-2003)

En 1997 el Bussines Council for Sustainable Development capítulo Golfo de México (BCSD-GM) impulsó algunos proyectos con el nombre de sinergia de subproductos proporcionando a las compañías asistencia técnica, orientación sobre aspectos de regulaciones fronterizas y obtención de fondos e identificación de socios potenciales. En octubre de ese año, el mismo organismo implementó el proyecto titulado “By-product synergy: A Demonstration Project Tampico” con un grupo de 21 industrias locales, 18 de las cuales pertenecían a la AISTAC. El proyecto consistía en detectar posibles sinergias entre empresas donde alguno de los residuos de sus plantas pudiera llegar a ser un insumo en algún proceso de otra planta. Esta sinergia de subproductos pretendía minimizar el impacto de la actividad industrial sobre el ambiente y obtener beneficios económicos.

Se contabilizó en cada compañía la entrada y salida de flujos de materiales, artículos útiles y en lo posible información relativa a costos. Los materiales fueron analizados con un *software* especializado para la construcción de una base de datos y mediante lluvia de ideas en reuniones bimestrales con el grupo de empresas. Durante un primer análisis se mostró que el agua residual, el CO₂ y el CO eran los tres materiales que más se generaban en cuanto a cantidad de masa con 44820, 44400 y 26720 ton/año respectivamente (Carrillo, 2005; BCSD-GM, 1999).

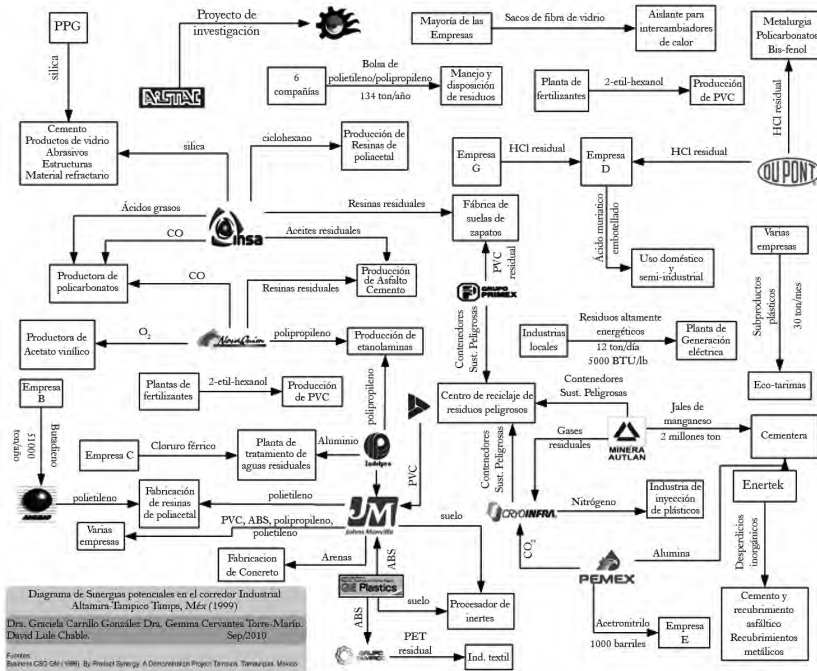
Se presentaron como resultados 29 flujos de materiales con posibilidad de sinergias, se reconocieron 46 usos potenciales para estos 29 flujos y a partir de esa información se llegó a 63 sinergias identificadas. Una vez sometidas a evaluación (técnica, financiera, legal, geográfica, de riesgo, etcétera) las 63 sinergias, se eligieron 13 para una nueva investigación técnica más detallada. De las trece sinergias elegidas, 6 sinergias involucraban únicamente 2 empresas y 7 sinergias involucraban más de 2 compañías. De las 13 sinergias identificadas a continuación se detallan nueve:

1. Recuperación de CO₂. Se identificaron cuatro empresas que podían producir localmente en una cantidad significativa, con un valor en el mercado de la industria refresquera. El inconveniente para esta sinergia es el alto contenido de impurezas en los flujos residuales de este gas.
2. Recuperación de ácido clorhídrico. Dos empresas consumían ácido clorhídrico y otras dos producían el HCl como subproducto. Una de estas dos empresas ya estaba recuperando el ácido clorhídrico. La otra compañía decidió envasar el ácido impuro (muriático) y venderlo localmente para usos domésticos y semi-industrial.
3. Uso de resinas de polímero para materiales de construcción. Las resinas plásticas constituían el 34% del total de flujo de residuos. Se investigaron 4 posibles sinergias para usar estas resinas como materiales de construcción.
4. Rehabilitación criogénica de resinas de polímeros. Se propuso recuperar los polímeros mediante procesamiento criogénico, de manera que al pulverizarlos con nitrógeno líquido, se lograba una alta homogeneidad obteniendo una materia prima de alta calidad para producir productos de plásticos por inyección, que podían abastecer pequeñas y medianas empresas de la región.
5. Limpieza y reciclaje de contenedores de sustancias químicas. Se reportaron aproximadamente 6500 contenedores clasificados como residuos peligrosos debido a que originalmente contenían sustancias químicas peligrosas. Como su reutilización es legalmente compleja, las empresas solían llevarlos a incineración. El proyecto atrajo la atención de compañías recicladoras con operaciones en Matamoros y la Ciudad de México, quienes exploraron la posibilidad de establecer un centro de recolección local, limpieza y distribución.
6. Recuperación de cloruro férrico para venta externa. Este residuo de uno de los procesos de una empresa, se pudo vender para ser usado como coagulante para la remoción de turbidez y sólidos suspendidos en sistemas de tratamiento de aguas.
7. Fibra de vidrio residual. No se encontró una sinergia específica, sin embargo la AISTAC se hizo responsable de iniciar negociación con el Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada de Altamira (CICATA) para realizar investigaciones para aprovechar este material.
8. Uso de residuos minerales. Una empresa minera genera altas cantidades de escoria metálica y propuso evaluar su uso en la fabricación de cemento.

9. Uso de PVC y negro residual para fabricación desuelas de zapatos.
Estas se observan en el Diagrama 1.

DIAGRAMA 1

Sinergias del proyecto de sinergia de subproductos en el corredor Altamira-Tampico en 1997



Fuente: Lule y Cervantes (2011).

La implementación de las sinergias identificadas no fue un proceso sencillo. Las barreras identificadas para aplicar las sinergias incluyeron principalmente aspectos técnicos, económicos, regulatorios y geográficos. Algunas soluciones técnicas son viables, mientras que en otros casos la tecnología tendría que desarrollarse. Algunas sinergias involucraban inversiones que en ese momento no eran atractivas o favorables, ya que el costo de contaminación no se encuentra reflejado en la estructura económica.

En algunas sinergias la distancia y el costo que involucra el transporte de los materiales no son atractivos económicamente. La principal barrera regulatoria fue la clasificación de materiales por ello las industrias expresaron su interés en reclasificar los materiales residuales en función de sus usos potenciales.

A partir del proyecto BPS y como parte de las reuniones del comité SIPAAISTAC se elaboraron los llamados talleres de Eco-Eficiencia durante 1998 y de 2001 a 2003. En estos talleres, los representantes de las empresas que integran el comité exponían los proyectos que las empresas implementaban en sus procesos y los beneficios obtenidos. Los proyectos expuestos en los talleres de eco-eficiencia giraban especialmente en torno a la reutilización como materia prima de los subproductos clasificados como fuera de especificación, a la disminución en el uso de combustibles y a la reutilización de agua.

En 1998 Se recopiló la información de 25 casos de 10 empresas de la zona industrial obteniéndose beneficios económicos aproximados por concepto de ahorro en materiales y aumento de ventas de 7.5 millones USD/año y de ahorro de consumo de materiales (AISTAC, 1998):

- Ahorro de 330 m³/h de metano.
- Reducción de 100 m³/día de consumo de agua.
- Reducción de 3500 ton/año de metanol.
- Reducción de 850 Kw/mes del consumo eléctrico.
- Se reutilizaron 900 ton de hidrocarburo para producción de asfalto.

En 2001 Se organizaron 9 reuniones en las que se presentaron 25 casos de 13 empresas, obteniéndose los siguientes beneficios (AISTAC, 2001):

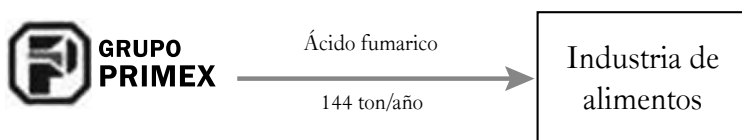
- Ahorro en materiales y aumento de ventas: 1.88 millones USD/año.
- Reducción en 40% de la cantidad de residuos generados.
- Reducción de 80 ton/mes en el consumo de estireno.
- Reutilización de agua.
- Reducción en el uso de agua en 170 m³ agua/día.
- Reducción de 42 mil ton vapor/año.
- 10 MBTU/h aprovechados de corrientes de agua caliente.
- Aprovechamiento de 96 ton de barredura de plástico/mes.

De 2002 a 2003 se organizaron nueve reuniones en las que se presentaron casos de 10 empresas obteniéndose los siguientes beneficios (AISTAC, 2003):

- Reducción de 10 ton/día de materias primas.
- Disminución de emisiones de 600 ton CO₂eq /mes.
- Reducción de consumo de 125 mil m³ agua/mes.
- Ahorro de 1 millón USD/año aproximadamente.
- Disminución el volumen de efluentes en 60 mil m³ anuales.
- Reducción de 144 ton anuales de residuos.
- Reducción de vapor en 100 ton/día.

Uno de los ejemplos descritos fue el de Grupo Primex. Se obtuvo ácido fumárico a partir de los gases exhaustos de reacción del proceso de producción de anhídrido ftálico que eran enviados a la atmósfera y también se obtuvo un nuevo plastificante a partir de residuos peligrosos de la planta anhídrido ftálico evitando el confinamiento de 144 ton anuales del residuo y un ingreso mensual de alrededor de 7 500 USD (Carrillo, 2005).

DIAGRAMA 2
Sinergia implementada por Primex



Fuente: elaboración propia con base en Carrillo (2005).

Con estos talleres las empresas del corredor industrial generaron proyectos que contribuyeron al logro de objetivos comunes, promovieron un desarrollo industrial sostenible en beneficio de la industria y la comunidad, se percataron que los desechos generados son señal de ineficiencia y buscaron reutilizar los residuos o subproductos para obtener beneficios económicos y ambientales.

Evolución y factores determinantes del proyecto

Bajo un enfoque socioeconómico G. Carrillo realizó una tesis doctoral analizando los factores geográficos, institucionales y sociales que favorecieron el éxito del By-product synergy en el corredor industrial en 1997-1999. La investigación se orientó a identificar los elementos que se desprenden desde dos planteamientos teóricos, la ecología industrial y la cooperación interempresarial. Se identificó que el papel de los corporativos ha sido clave en las decisiones de las empresas para incurrir en acciones que modifiquen sus conductas y procesos a favor del ambiente. Tras esta línea dictada por las transnacionales está el interés de generarse una imagen de empresa limpia que les abra nuevas oportunidades en el mercado.

En 2007 el Grupo de Investigación en Ecología Industrial (GIEI) de la Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología (UPIBI) del IPN realizó una visita al corredor industrial estableciendo contactos con los industriales que habían implementado la sinergia en 1997. Como resultado de esta interacción, se confirmó la continuidad de algunos de los proyectos, la desaparición de otros y el desarrollo de otros nuevos. Las sinergias nuevas que se identificaron fueron las siguientes:

- La empresa NHUMO envía sus residuos orgánicos del comedor a granjas porcinas locales como alimento para los animales.
- Las barreduras del producto principal (negro de humo) de NHUMO se utilizaron como materia prima en una industria de construcción y en una fábrica de calzado.
- La chatarra metálica de NHUMO se envió a industrias de fundición.
- Varias empresas de producción de polímeros sintéticos enviaban materiales residuales a la empresa Johns Manville donde se emplearon en la manufactura de membranas impermeables, entre estos materiales residuales se encontraban polipropileno, policloruro de vinilo, acetonitrilo-butadieno-estireno.
- La empresa Dupont enviaba el tricloruro de hierro residual generado en sus procesos como floculante a una planta de tratamiento de aguas residuales.

Las nuevas sinergias y las que se mantuvieron del proyecto BPS se ilustran en el siguiente diagrama de sinergias.

un ejemplo de esto son los grados flexibles, rígidos y limpios para aplicaciones del sector alimenticio de los polímeros sintéticos.

En estas empresas se manejan los convenios de *outsourcing*, este es el caso de transportistas, personal de intendencia, mantenimiento, vendedores, entre otros dependiendo de cada empresa. Casi el total de las empresas instaladas en el corredor comercializan sus productos tanto en el extranjero como en el territorio nacional, de las seis empresas participantes solamente una comercializa exclusivamente para el mercado nacional. Las empresas del corredor están en una dinámica de cambio constante, muchas de ellas se instalaron con el objetivo de cubrir solamente una demanda nacional y posterior a varias expansiones de sus instalaciones y sus capacidad instalada, dirigen ahora sus productos a la exportación, dejando el consumo nacional como mercado secundario.

El 100% de las empresas participantes pertenecen a la Asociación de Industriales del Sur de Tamaulipas, AC (AISTAC), el subcomité de Seguridad Industrial y Protección Ambiental (SIPAAISTAC), y la Asociación Nacional de la Industria Química (ANIQ). Algunas de ellas participan con otros comités como el Comité de Ayuda Mutua. A la fecha ninguna empresa cuenta con vínculos con instituciones gubernamentales para atender aspectos ambientales. Indirectamente se relacionan con algunas secretarías del gobierno federal o estatal, sin embargo estos vínculos son meramente por requerimientos o trámites normativos.

Con los proveedores los vínculos ambientales se refieren a los compromisos adquiridos por las empresas que se encargan del manejo de los residuos de las empresas, en el que deben tener actualizados sus permisos y preferentemente estar certificados en ISO-14000. Entre las prácticas implementadas que son consideradas como medioambientales dirigidas hacia la comunidad por las empresas están la campaña de liberación de la tortuga lora que se realiza anualmente en conjunto con un comité de la Semarnat. También campañas de reforestación y la campaña de “Mi playa limpia” que se realiza en colaboración con una comunidad cercana a la costa.

En las empresas se tiene un promedio de 20 GW/año en consumo eléctrico, se estima que el 70% es destinado para proceso y un 20% en iluminación. El 100% de esta energía consumida proviene en primera instancia de fuentes no renovables, únicamente el 30% proviene de la cogeneración llevada a cabo en las instalaciones de una empresa privada local que suministra vapor y energía eléctrica a dos de las empresas participantes. Por lo tanto, el suministro eléctrico

con base en fuentes renovables de energía es nulo. Para el caso del vapor, este es obtenido en todos los casos por combustión de gas natural, el 50% de las empresas generan el vapor en calderas operadas por ellas mismas en sus propias instalaciones, el otro 50% obtiene este suministro de vapor de otras empresas. En este aspecto se debe destacar que uno de estos flujos de vapor es fruto de una de las sinergias más exitosas implementadas en el corredor industrial. Otros combustibles empleados en sus procesos son diésel para generadores eléctricos de emergencia o para abastecimiento de sus vehículos de carga y el gas LP.

Algunas empresas emplean corrientes de fluidos a altas temperaturas como fuentes de energía térmica que mediante sistemas de intercambiadores de calor aprovechan estos flujos calóricos en otros procesos. Todos estos intercambios son internos, no existen intercambios de este tipo con otras empresas.

Todas las empresas participantes cuentan con relaciones de cooperación y/o altruistas con distintas entidades locales, entre estas relaciones se encuentra las pláticas sobre concientización ambiental y de protección civil impartidas a escuelas de comunidades vecinas, desde nivel primario hasta nivel superior, se han donado equipos de cómputo a escuelas. Y se donan los contenedores vacíos a las escuelas y comunidades para que sean utilizados como botes de basura.

Las empresas participantes organizan distintas actividades deportivas y culturales con sus trabajadores, algunas se organizan también tanto para trabajadores como para sus familias, para estudiantes de escuelas locales, para las comunidades vecina y algunas para público en general. La mayoría de estos eventos se organizan en coordinación con más de una empresa y donde participan otras entidades como son, protección civil, instituciones de educación superior, gobiernos locales, organismos gubernamentales, asociaciones de protección ambiental, Ejército Nacional y Marina, Asociaciones Industriales y Cruz Roja. Se realiza al menos dos eventos cada año, normalmente uno de éstos es interno y otro es realizado en conjunto con otra(s) entidades. En promedio a estos eventos asisten 70 personas. Anualmente las empresas de la AISTAC organizan un congreso sobre medicina del trabajo, seguridad industrial, mantenimiento. Otra de las actividades realizadas que tienen gran impacto es el macro simulacro realizado bianualmente, en el que se simula un accidente industrial, este evento ha permitido fortalecer las redes sociales entre empresa, comunidad organizaciones no gubernamentales y el gobierno.

Entre todas las empresas se generaron un promedio de cinco nuevos empleos el último año y se revalorizaron solamente dos empleos. No se tiene un registro sobre apartados específicos en cuanto al presupuesto anual destinado al desarrollo de proyectos específicamente ambientales. Las propias empresas perciben que existe poco interés (económico) en cuanto al desarrollo de proyectos ambientales. Los proyectos que se realizan en las plantas que cuentan con un centro de investigación, la gran mayoría, conllevan consecuencias ambientales positivas de manera indirecta, los objetivos principales son el desarrollo de tecnología más eficiente a fin de disminuir la cantidad de materia fugitiva y evitando en lo posible ineficiencias energéticas.

Los procedimientos con relación a temas de seguridad y protección ambiental que manejan las empresas participantes son: disposición de residuos, manejo de emergencias ambientales dentro de la planta, disposición de residuos de acuerdo con la normatividad y la evaluación de impactos ambientales de algunas etapas del proceso, en menor medida el manejo de emergencias ambientales dentro de la planta con incidencias en comunidades vecinas.

Algunos de los programas que monitorean, son aquellos enfocados a la disminución de la contaminación, estos programas pueden estar basados en las normas ambientales, en los sistemas de gestión u otros cuando se contratan a técnicos ambientales externos. Otros programas ambientales implementados en las empresas son la reducción de emisiones por fuentes fijas, la reducción en el consumo-descarga de agua, la reducción en la generación de residuos sólidos y la disminución de las deficiencias en el uso de la energía, estos últimos programas derivados o como consecuencia de un uso más eficiente de los recursos y en un mantenimiento constante a los equipos.

Las empresas poseen programas de capacitación constante para todos sus trabajadores, incluso para los contratistas, dentro de la capacitación se imparten temas sobre protección ambiental como son: minimización en la generación de residuos, tratamiento adecuado de efluentes, actualización de la legislación ambiental y análisis de riesgos de una emergencia ambiental.

A pesar de que la mayoría dedica entre un 20 y 50% de su tiempo de capacitación para abordar temas ambientales, ninguna empresa de las participantes ha desarrollado actividades de formación de técnicos y especialistas en tecnologías medioambientales. Ninguna empresa ha necesitado, ni se le ha solicitado realizar un estudio de amparo ambiental.

En las empresas se cuenta con un departamento encargado de seguridad e higiene industrial, misma que se encarga de la gestión ambiental y en algunos casos del control de la calidad.

El consumo total de agua anual promedio de todas las empresas participantes es de 30-35 millones de m³, siendo el costo por consumo de \$1.53/m³ (costo a febrero de 2011) dando un costo total aproximado de \$50 millones anuales. Este flujo de agua es tomado de dos fuentes principalmente: el río Tamesí y el sistema lagunar. El principal uso dado al agua es en proceso y como servicios auxiliares.

Todas las empresas dan un tratamiento a sus efluentes, solamente dos de estas empresas no lo realizan ellas mismas, sino que tienen convenios con otras empresas que tratan sus efluentes, el tratamiento de estos efluentes involucra al menos dos métodos en distintas combinaciones de métodos físicos, químicos y biológicos.

Una de las empresas no cuentan con su propia planta de tratamiento, así que para dar este tratamiento mantiene convenios con su empresa vecina. De manera similar existen dos plantas que no cuentan con sistemas de acondicionamiento de agua cruda para su empleo en proceso, este acondicionamiento lo realiza una empresa vecina que proporciona los flujos necesarios para su autoconsumo y para los de la planta vecina, esto reduce los costos de pretratamiento de agua y evita una duplicidad en los equipos empleados para este propósito.

El volumen anual de producción de sus productos es de 2 020 000 de toneladas con una gama de volúmenes de producción desde 130 mil hasta 800 mil toneladas anuales en cada empresa.

El volumen de residuos generados por todas las empresas participantes es de entre 500 y 600 ton mensuales, es decir un promedio de 6 600 ton/año. De los residuos generados, los lodos de las plantas de tratamiento representan el mayor porcentaje, que en la mayoría de las empresas es mayor al 50%. Los residuos de manejo especial son los segundos residuos generados en su mayoría chatarra metálica, los residuos peligrosos al ser los de mayor costo de disposición son en los que las empresas enfocan sus esfuerzos a fin de disminuir su generación en peso y volumen, finalmente los residuos sólidos urbanos son los de menor cantidad de generación. De los residuos sólidos urbanos generados, las bolsas y empaques de polietileno de baja densidad son los que ocupan mayor volumen, seguido por los residuos de madera. Los otros residuos en general mantienen un volumen de generación muy similar.

Ninguna de las empresas realiza reciclado de residuos pero sí mantienen contratos con pequeñas empresas recicladoras locales. Los subproductos que las empresas reintegran en sus procesos productivos son los productos obtenidos fuera de especificación y las materias primas que no reaccionaron en las primeras fases de su transformación y que fueron recuperadas en etapas posteriores.

En algunos casos el reintegrar material fuera de especificación al proceso, altera sensiblemente la calidad del material y se decide por no reintegrarlo, sino comercializarlo como un producto de “segunda”, es decir, de menor calidad y por lo tanto de menor costo, a este rubro se suman todas las barreduras generadas a lo largo del proceso.

Ninguna de las empresas participantes tiene convenios de compra de subproductos de otra empresa para utilizarlos como materia prima o insumos en sus procesos. Sin embargo, como se observa en la figura, se puede ver que 50% de ellas sí los tienen para el reciclaje de sus residuos, con pequeñas recicladoras locales.

El Proyecto

En el 2009 se aprobó el proyecto Conacyt-Ciencia Básica: “Factores determinantes para la ecología industrial en un sistema complejo: el corredor industrial de Altamira-Tampico y el parque industrial Toluca 2000”, coordinado por el área de Análisis y Gestión Socioeconómica de las Organizaciones (AGSEO) de la UAM-Xochimilco y con la colaboración del Grupo GIEI del IPN. Este proyecto identificó el peso que tiene la cooperación interempresarial y las políticas corporativa e institucional en la decisión, por parte de los gerentes de planta, de adoptar mecanismos para la innovación tecnológica y la aplicación de procesos basados en el desarrollo de sinergias y ecoeficiencias.

Mediante un cuestionario aplicado a los encargados de temas ambientales en las seis empresas participantes se identificó el grado en que se incorpora dentro de las empresas el aspecto ambiental y su disposición para identificar e implementar sinergias que permitan el aprovechamiento de sus residuos de agua, materiales, energía y de flujo de información con otras empresas de la misma región. Los factores que promueven la ecología industrial a través de la gestión ambiental

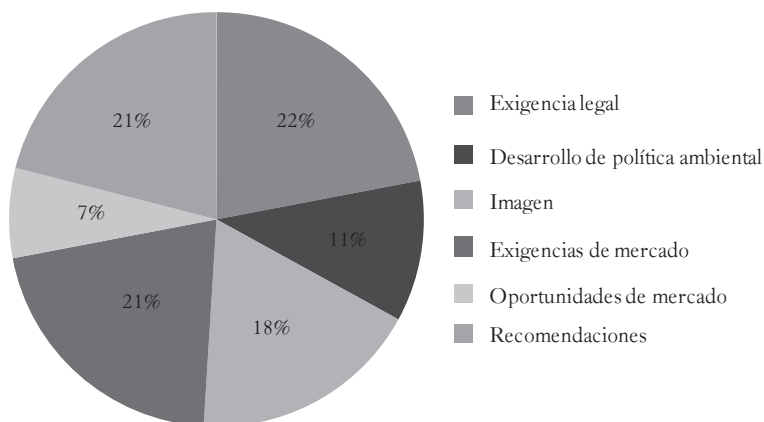
de las empresas están extraídos de los cuestionarios y también de las visitas a las empresas y reuniones con los agentes implicados en el corredor industrial.

La gestión ambiental en las empresas del corredor

Las principales razones que motivan a las empresas a implementar prácticas medioambientales generales son: presiones externas como exigencias legales/normativas, exigencias del mercado al que venden sus productos y las recomendaciones que manifiestan las asociaciones a las que pertenecen. Menos importantes son la imagen, el desarrollo de políticas ambientales y la oportunidad de mercado (Gráfica 1).

GRÁFICA 1

Razones que motivan a las empresas a implementar prácticas ambientales



Fuente: elaboración propia.

En el ámbito de la gestión integral existen varios objetivos bien definidos para incorporar aspectos ambientales en la gestión, estos aspectos son incrementar las ventas, aumentar la productividad (o eficientar los procesos), mejorar beneficios comerciales y reducir cuotas en el mercado.

Todas las empresas participantes cuentan con una política ambiental o en su caso una política integral que contempla aspectos ambientales, estas políticas son

elaboradas directamente por el corporativo y sólo en un caso además de la política ambiental corporativa, se maneja una política ambiental de la planta, la cual se desprende de la política corporativa. Los temas que aborda esta política pueden ser un cumplimiento mayor al contemplado en leyes, normas y reglamentos, el cumplimiento estrictamente establecido en las leyes, una evaluación de impactos ambientales, o un manejo adecuado de residuos.

En la mayoría de las empresas participantes, los encargados de temas ambientales perciben que la alta dirección de la empresa le da una prioridad alta a temas ambientales, o a la mayoría de ellos, sólo un tercio perciben que se les considera temas importantes pero no prioritarios.

Las principales barreras externas detectadas por las empresas que se presentan en temas de mejora ambiental son la falta de tecnología, las políticas gubernamentales y la infraestructura inadecuada. Internamente reconocen que existen otros temas a los que se les da la prioridad. A pesar de estas barreras se han obtenido algunas mejoras como cambios tecnológicos en el proceso para disminuir las mermas, implementación de sistemas de tratamiento de residuos, programas de mantenimiento a las instalaciones, entre otros. En aspectos ambientales, el principal motivante es el cumplimiento de las regulaciones ambientales y algunas especificaciones de los clientes.

Normalmente dentro de los convenios y/o contratos establecidos con las empresas recicladoras, se anexa un párrafo en el que se especifica que estas empresas recicladoras deben mantener vigentes sus permisos legales para el manejo de los residuos.

Las empresas han desarrollado distintas actividades de mejora por tecnologías limpias en sus procesos, de estas tecnologías introducidas se han obtenido los beneficios planteados en los objetivos de implementar estas actividades así como beneficios de ahorro de consumo de materiales secundarios como combustibles, o reducción en los residuos generados.

Factores que promueven la EI en el corredor industrial

Como parte del contexto actual del corredor industrial y de acuerdo con lo citado en Carrillo (2005) se pueden señalar que los principales factores que favorecen

la implementación de acciones encaminadas al logro de los objetivos de la EI son los siguientes:

- La presencia de la AISTAC, una entidad que facilita el intercambio de información entre sus empresas.
- La cercanía geográfica entre las empresas que facilita tanto el flujo de información como de materiales.
- La experiencia en el “By-product synergy”, y los talleres de ecoeficiencia.
- Los corporativos consideran el cuidado al medio ambiente dentro de sus políticas y en algunos casos buscan y promueven la búsqueda de nuevas opciones encaminadas a la reducción de residuos, el ahorro de agua y el ahorro energético.
- No existe un aprovechamiento de las fuentes renovables de energía, pero las empresas sí están interesadas en comenzar a emplearlas.
- Existe una fuerte red social entre empresas y de éstas con el sector académico y las comunidades vecinas que facilita la búsqueda de oportunidades de sinergias.

Creación de una bolsa de subproductos en la región del corredor

Una estrategia que utiliza la EI para fomentar la reutilización son las bolsas de subproductos, por definición estas bolsas son un medio por el cual las empresas de distintos sectores pueden difundir e intercambiar subproductos que pueden utilizar otras empresas como materia prima en la elaboración de sus productos.

De acuerdo con el grado de intervención de la entidad titular en el proceso de intercambio, se distinguen básicamente cuatro tipos de Bolsas de subproductos industriales (Hernández y Fernández, 2010):

- Intercambio pasivo de información.
- Intercambio activo de información.
- Intermediación en la transferencia de materiales.
- Transferencia directa de materiales.

Una meta del proyecto “Factores determinantes para la ecología industrial en un sistema complejo: el corredor industrial de Altamira-Tampico y el parque industrial Toluca 2000” es diseñar un programa para la creación de una bolsa de subproductos a nivel local en los parques estudiados.

Durante las vistas al corredor industrial Altamira-Tampico se les mencionó a las empresas sobre cómo se han establecido las bolsas de subproductos en otros países y con base en esto se les cuestionó si ellos consideraban una oportunidad la creación de una bolsa dentro de la zona industrial.

La mayoría de las empresas ve como una oportunidad la creación de una bolsa de subproductos, identifican también varios aspectos que deben considerarse durante la creación de un proyecto de este tipo:

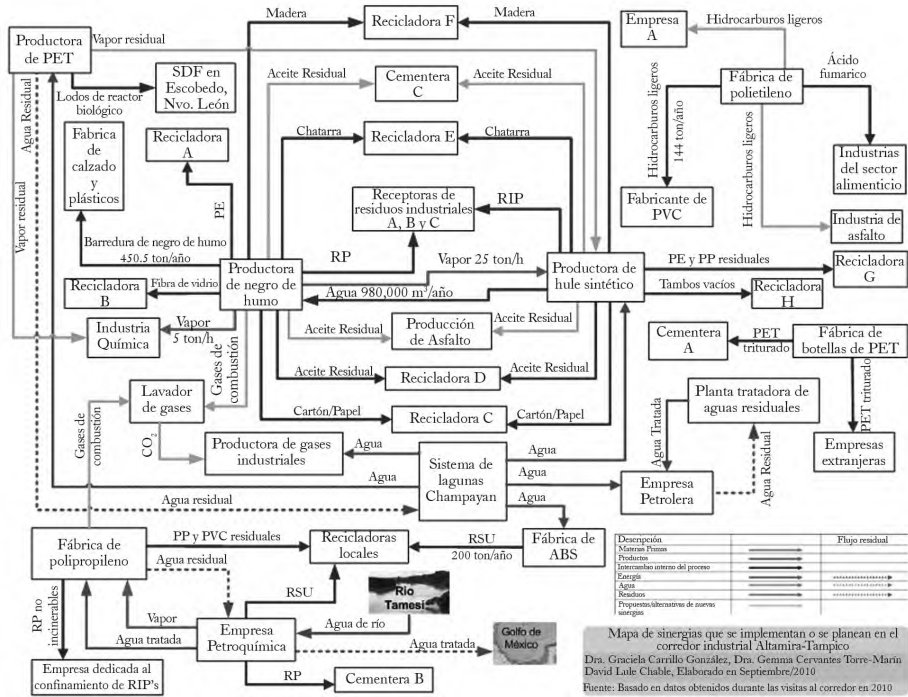
- *Los tiempos de las empresas.* Tiempo disponible para dedicar a un proyecto de este tipo, que seguramente serán muy diferentes para cada una de las empresas participantes.
- *Axiología de las empresas.* Las escala de valor y prioridad que las empresas dan a cada proyecto o tema particular, por ejemplo, el gerente decide destinar más recursos al área de investigación y desarrollo a fin de introducir un nuevo producto, en lugar de destinar este presupuesto al departamento de gestión ambiental.
- *Etapa administrativa.* Para integrar una bolsa de subproductos, deben involucrarse muchas empresas, estas empresas estarán, cada una, enfocadas en temas distintos como pueden ser: disminución de ventas, fallas de suministro de materias primas, auditorías realizadas por el corporativo, etcétera. Debido a estas diferencias en las actividades que cada empresa realiza, se dificulta la coordinación en los momentos de integrar reuniones para la creación de una bolsa de subproductos.

Identificación de sinergias existentes y potenciales

Se identificaron distintas sinergias de subproductos que se llevan a cabo actualmente en las empresas participantes. Estas sinergias involucran principalmente intercambio de material residual aprovechado como materia prima en otra empresa, aprovechamiento de agua, aprovechamiento de energía,

recondicionamiento de agua y residuos. Otras sinergias pueden identificar acciones conjuntas que podrían realizar las empresas. Con base en estas sinergias implementadas y a otras identificadas como potenciales se elaboró un diagrama de sinergias para este corredor industrial (Diagrama 4).

DIAGRAMA 4
Sinergias en el corredor industrial Altamira-Tampico 2011



Fuente: Lule y Cervantes (2011).

A continuación se mencionan algunos ejemplos de las sinergias implementadas actualmente.

Las barreduras de negro de humo de una empresa y hule sintético de otra son enviadas a una fábrica de calzado en Guanajuato. El gas natural residual de una empresa se aprovecha en una caldera que suministra el vapor para su propio consumo y para dos industrias más. El agua residual de una empresa se envía a

la empresa vecina, ésta trata los efluentes de ambas industrias. Varias industrias envían sus residuos peligrosos (RP) a las cementeras para ser incinerados. Las empresas que implementan programa de separación de residuos llevan estos residuos a recicladoras locales. Una pequeña recicladora emplea el polipropileno residual para la elaboración de tubería flexible tipo “conduit”. Algunas de estas sinergias se muestran en los diagramas 5 y 6.

DIAGRAMA 5

*Mapa de Tampico indicando una sinergia de aprovechamiento de PET residual
a) en esquema y b) en vista satelital*



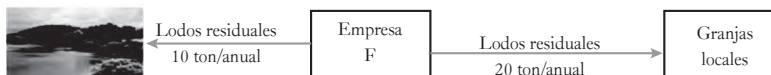
Fuente: David Lule (modificado de Google Map-Maker)

Los desechos orgánicos de dos empresas son aprovechados en una para preparación de composta y en otra se envía como alimento de animales en una granja.

DIAGRAMA 6

Sinergia de aprovechamiento de lodos residuales como fertilizante visto en a) esquema y b) indicado en mapa del sur de Tamaulipas

a)



b)



Fuente: David Lule (modificado de Google Map-Maker).

CUADRO 1

Sinergias identificadas durante el Proyecto Conacyt-2009

Empresa	Sinergias implementadas	Sinergias potenciales
Fabricante de PP	5	----
Fabricante de hule sintético	10	3
Fabricante de negro de humo	11	4
Fabricante de PET	3	2
Fabricante de PTA	5	1
Fabricante de PVC	2	2
Industria de productos químicos	1	1
Embotelladora	2	----
Recicladoras	14	----
Cementeras	4	----

Fuente: Lule y Cervantes (2011).

Las empresas con las que se trabajó en el proyecto invierten tiempo y recursos humanos, materiales y económicos en su gestión ambiental y en la búsqueda de oportunidades de sinergias de subproductos, mejorando las condiciones en sus instalaciones y reduciendo su impacto negativo en el entorno.

La aplicación de estas sinergias de subproductos ha beneficiado a las empresas en la reducción de costos tanto en la disposición de residuos como en la compra de materias primas y en la revalorización de residuos. Las sinergias implementadas han disminuido la cantidad de residuos generados, y han favorecido el aprovechamiento de estos residuos en otros procesos, evitando su disposición final.

A continuación se mencionan algunos ejemplos de las sinergias de subproductos identificadas como sinergias potenciales: una de las empresas emplea salmuera como coagulante. Se identificó que esta salmuera podría ser salmuera residual de otras industrias como la de la industria de alimentos.

De las seis empresas participantes en el proyecto, cuatro de éstas cuentan con su propia planta tratadora de aguas residuales, y están pagando por enviar los lodos a disposición final. Retirando la humedad a los lodos queda un polvo rico en polímeros que puede comercializarse como plástico de segunda calidad que se emplea en la industria de juguetes y la industria textil en empresas extranjeras.

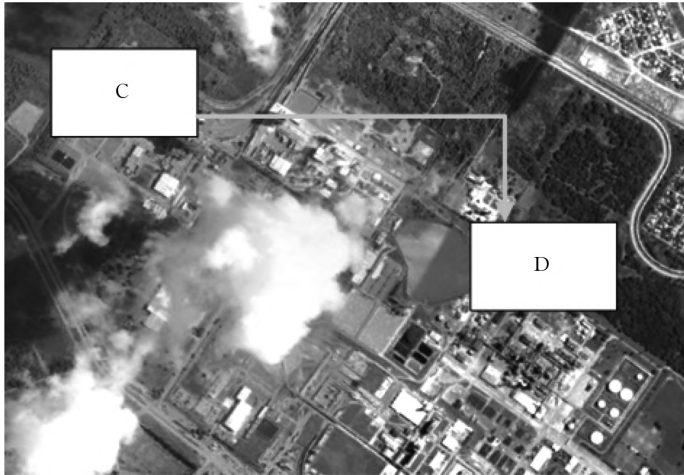
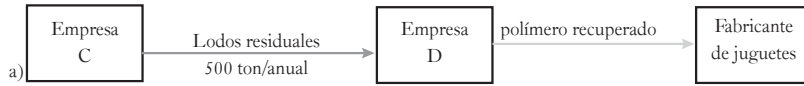
Los residuos sólidos urbanos de las empresas se envían a plantas recicladoras y otras lo envían a tiraderos municipales. Se planteó implementar programas de separación de residuos en todas las empresas participantes y se identificó un proveedor de reciclaje para cada tipo de residuo: madera, plástico, chatarra metálica y vidrio. Para el papel y cartón se propone que sea enviado a una planta productora de papel que se encuentra en el corredor además de promocionar programas para darle un uso eficiente al papel (Diagrama 8).

Se identificaron cinco flujos de agua caliente y seis de gases de combustión de los que no se aprovecha su capacidad de ceder calor a otros procesos mediante intercambiadores de calor. De los gases de combustión también se identificó la posibilidad de tratarlos por medio de tecnología de captura de CO₂ con sosa, obteniendo sales de sodio y magnesio que pueden comercializarse en las industrias de refinación del petróleo, la industria textil, industria papelera.

Sustitución del consumo de energía eléctrica en el ámbito de iluminación y energía eléctrica de uso no industrial como oficinas, comedores y laboratorios

DIAGRAMA 7

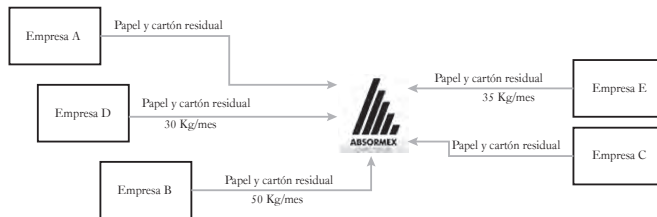
Sinergia de aprovechamiento en mapa del sur de Tamaulipas



Fuente: modificado de Google Map-Maker.

DIAGRAMA 8

Sinergia de aprovechamiento de papel residual entre empresas del corredor industrial vista en (a) esquema e (b) indicada en mapa del sur de Tamaulipas



Fuente: modificado de Google Map-Maker.

por la instalación de equipos fotovoltaicos y minieólicos a fin de disminuir los costos de consumo eléctrico y adicionalmente participar de beneficios en el mercado de “bonos de carbono”. Por cada KWh de electricidad generada por fuentes renovables, en lugar de usar combustibles fósiles se deja de emitir en promedio (Wind Resource, 2011):

- 0.6 kg de CO₂
- 1.33 gr de SO₂
- 1.67 gr de NO

La eficiencia de los sistemas fotovoltaicos depende principalmente de la insolación global (KWh/día*m²), en el sur de Tamaulipas esta es (Altestore, 2011):

Mín 3.2

Máx 6.4

Promedio 4.5

Con este valor de insolación global promedio, un sistema de energía solar puede aportar una reducción anual de 0.5 kg. de CO₂ por cada KWh instalado (Grupo Prosolar México, 2010).

Conclusiones

La simbiosis industrial es una herramienta que promueve la creación de redes de empresas de distintos sectores, reduce el uso de recursos naturales, el uso de agua potable, desechos tóxicos, emisiones, transporte, etcétera.

Los diagramas de sinergia de subproductos permiten detectar posibilidades de sinergias entre industrias, analizar visualmente la evolución con el tiempo del sistema y apreciar que la simbiosis industrial en este corredor industrial se encuentra en constante evolución.

La comparación del diagrama de sinergias generado en este proyecto con los de 1999 y 2007 nos lleva a ver que existe una mayor participación de empresas dedicadas al reciclaje dentro de las interrelaciones del corredor industrial. También se puede observar cómo el número de sinergias aumentó con los años.

El diagrama de sinergias actuales muestra una gran interrelación entre las empresas, especialmente en el intercambio de residuos como materia prima, tal como establecen los sistemas de simbiosis industrial. Las sinergias potenciales detectadas están en proceso de ser evaluadas y podrán aportar un mayor aumento de la red de interrelaciones y beneficios económicos, sociales y ambientales propios de los sistemas de simbiosis industrial.

Las industrias instaladas en el corredor industrial de Altamira-Tampico poseen un alto potencial para el impulso de la simbiosis industrial y de la ecología industrial. A eso contribuye la presencia en el corredor industrial de Altamira-Tampico de la asociación industrial AISTAC, que es un factor que promueve y facilita la interacción entre las empresas que la conforman, como consecuencia, el flujo de información no es una barrera en la búsqueda de nuevas oportunidades de aplicación de ecoeficiencias y/o sinergia de subproductos.

Bibliografía

- Asociación de Industriales del Sur de Tamaulipas (AISTAC) (1988), *Reporte de los "Talleres de Eco-Eficiencia"*, Tamaulipas, Consejo Empresarial para el Desarrollo Sostenible.
- (2001), *Reporte de los "Talleres de Eco-Eficiencia"*, Tamaulipas, Consejo Empresarial para el Desarrollo Sostenible.
- (2003), *Reporte de los "Talleres de Eco-Eficiencia"*, Tamaulipas, Consejo Empresarial para el Desarrollo Sostenible.
- Business Council for Sustainable Development Gulf of Mexico (BCSD-GM) (1999), *By-Product Synergy: A Demonstration Project Tampico*, Tamaulipas, BCSD-GM.
- Carrillo, G. (2005), "Ecología Industrial y Sustentabilidad. El proyecto de sinergia de subproductos en Altamira-Tampico", tesis de doctorado, Universidad de Barcelona, España.
- Cervantes Torre-Marín, G., Sosa Granados R., Rodríguez Herrera G. y Robles Martínez F. (2009), "Ecología industrial y desarrollo sustentable", *Ingeniería*, Revista Académica de la FI-UADY, núm. 13-1, pp. 63-70.
- Cervantes G., F. Robles, G. Rodríguez y D. Sosa (2008), "Sistemas Agropecuarios Ecoindustriales en México, DF", ponencia presentada en Expoincytam 2008 Innovaciones Científicas y Tecnológicas Ambientales para las Grandes Urbes de América Latina, México, noviembre.

- Cervantes, G. (2007), *Ecología industrial*, Barcelona, Fundació Pi i Sunyer.
- Hernández, M. y Fernández G. (2010), “Bolsa de subproductos, una estrategia de ecología industrial”, *Memorias del Quinto Congreso Internacional Sistemas para la Innovación y la competitividad 2010*, Tecnologías Convergentes para la Competitividad, SINNCO 2010, CONCyTEG, México.
- Lule, D. y Cervantes G. (2011), “La sinergia de subproductos en el corredor industrial de Altamira-Tampico, una herramienta para la ecología industrial”, ponencia presentada en el Sexto Congreso Internacional de Sistemas de Innovación para la Competitividad (SINNCO) Leon, México.
- Lule, D. y Cervantes G. (2010), “Diagramas de flujo de sistemas industriales, una herramienta para la ecología industrial. El caso del corredor industrial de Altamira”, ponencia presentada en el Quinto Congreso Internacional de Sistemas de Innovación para la Competitividad (SINNCO) Celaya, México.
- Norma Oficial Mexicana (2004), NOM-033-PESC-2003, que establece lineamientos para la pesca responsable en el sistema lagunar Champayán y río Tamesí, incluyendo las lagunas Chairel y La escondida, ubicados en el estado de Tamaulipas. Especificaciones para el aprovechamiento de los recursos pesqueros, *Diario Oficial de la Federación*, México, 28 de mayo.
- Oxford University Press (OUP) (2004), *Biología. Diccionario*, Madrid, Editorial Complutense.
- Rodríguez Herrera, G., Sosa Granados R. (2008), “Propuesta de intercambio y aprovechamiento de residuos para la implementación de la ecología industrial en México”, Informe Técnico de la opción curricular en la modalidad de proyecto de investigación, Instituto Politécnico Nacional, México.

Páginas en internet

- Wind Resource [<http://www.altestore.com/howto/tools-calculators-reference/reference-materials/wind-resource-map-mexico/a46/>], fecha de consulta: julio de 2011.
- World Business Council for Sustainable Development (WBCSD) [www.wbcd.org/], fecha de consulta: mayo de 2011.
- Asociación de Industriales del Sur de Tamaulipas (AISTAC) [<http://www.aistac.org.mx/>], fecha de consulta: 2011.
- Altestore [<http://www.altestore.com/howto/Tools-Calculators-Reference/Reference-Materials/Wind-Resource-Map-Mexico/a46/>], fecha de consulta: abril de 2011.

Grupo de Investigación en Ecología Industrial (GIEI) (2011) [<http://gieiupibi.wordpress.com/>], fecha de consulta: mayo de 2011.

Grupo Prosolar México (2011) [<http://www.Prosolar.mx/2008/home.html>.], fecha de consulta: julio de 2011.

National Industrial Symbios Program (NISP) [http://www.nisp.org.uk/about_us.aspx.], fecha de consulta: mayo de 2011.

CAPÍTULO VIII
Ecología industrial y modelos de gestión ambiental
en la industria petroquímica

Alejandra H. Roldán Moreno

Los factores que influyen en la modificación de los modelos de gestión ambiental corporativa –para que se consideren pilares estratégicos de la ecología industrial– se vuelven una parte esencial para las empresas. En este capítulo se define que es la gestión ambiental –desde sus inicios hasta llegar a las últimas tendencias del ecodesarrollo–, en la que es posible la incorporación de los principios de la ecología industrial entre sus estrategias. Posteriormente se muestran los principales resultados de un estudio realizado en dos empresas petroquímicas en el estado de Tamaulipas, el cual estuvo enfocado en los modelos de gestión ambiental que han implementado sinergias y ecoeficiencias contempladas en la ecología industrial. En dicho estudio de caso se logró determinar los factores necesarios para la existencia de este tipo de modelos ambientales.

Dentro del sistema empresarial existen los modelos de gestión que han permitido grandes avances en el desarrollo corporativo. La revisión de las últimas tendencias sobre las variables que los sustentan, muestran la evolución de éstos, frente a los cambios de un mundo globalizado, considerando la incorporación de la variable ambiental entre los pilares que los sustentan.

Aunque el comportamiento de algunas empresas no es amigable con el ambiente, muchas otras consideran ir más allá de un simple cumplimiento de la normatividad, donde la gestión ambiental se ha convertido en un factor estratégico, motor del cambio, generador de competitividad y de recursos económicos. Es decir, la gestión ambiental es un factor crucial de innovación aplicada a las técnicas de organización y administración de los recursos.

Bajo el contexto anterior empezaremos por definir el concepto de la gestión ambiental y su evolución hasta la incorporación de los principios de ecología industrial entre sus principales estrategias de acción. Concluyendo con los principales resultados de un estudio de caso que permitió encontrar los factores que han sido determinantes en los modelos de gestión ambiental de dos empresas pertenecientes a la industria petroquímica, cuyas acciones han permitido la existencia de eco-eficiencias y sinergias consideradas en la ecología industrial

La gestión ambiental y su evolución

La gestión ambiental es definida como “el campo que busca equilibrar la demanda de recursos naturales de la tierra con la capacidad del ambiente natural, debe responder a esas demandas en una base sustentable” (Colby, 1990:1). Dicho campo surge como elemento fundamental en la búsqueda de alternativas para solucionar problemas ambientales, con el objetivo de conciliar y hacer eficientes las tareas y actividades humanas con el medio ambiente.

En la evolución del concepto de gestión ambiental se pueden identificar de forma general cinco paradigmas,¹ cada uno de ellos con exigencias diferentes para comprender los problemas ambientales y sus causas. En otras palabras, diferentes maneras de describir la relación fundamental entre el ser humano y la naturaleza. Cada uno de los paradigmas de modelación ofreció diferentes soluciones y estrategias de acción que dieron origen a la gestión ambiental que es practicada en la actualidad. A continuación se muestra una breve descripción de cada uno de los paradigmas fundamentales (Colby, 1990).

Economía de frontera (Boulding, 1966). Fue el paradigma dominante en los países industrializados en la década de 1960, la administración de las empresas sólo se preocupaba por la maximización de los beneficios económicos, sin considerar el daño a los medios naturales, ni el agotamiento del capital humano. Los recursos se apreciaban infinitos, la economía y naturaleza estaban separadas.

¹ Paradigma: una forma de percepción aceptada por todos; un modelo en torno del cual la realidad está organizada (Berman, 1981; citado por Colby, 1990:5). Thomas Kuhn adoptó el concepto para referirse al conjunto de prácticas que definen una disciplina científica durante un periodo específico (Kuhn, 1970).

Ecología profunda (Naess, 1973; Devall y Sessions, 1985). En contraste con el paradigma anterior, este esquema coloca al ser humano en una posición de sometimiento ante la naturaleza, lo que fundamenta el establecimiento de algunos de sus dogmas básicos: la igualdad de las especies, la reducción de la población humana, la promoción de la diversidad ecológica, una economía orientada al no crecimiento, fin de la dominación de la tecnología. En este paradigma se presume que el proceso de acumulación y de creación de valor no debe medirse sobre los patrimonios individuales, sino sobre el medioambiente en su conjunto (Gil, 2003). El tema central era desarrollar esquemas que incluyeran límites al crecimiento, el comportamiento ecológico de la empresa y sus relaciones con el medio ambiente

Principios ambientales (Carson, 1962). A fines de la década de 1960, los problemas ambientales se habían hecho más evidentes sobre todo en países industrializados, lo que trajo como consecuencia el interés generalizado en acciones para proteger el ambiente, motivo por el cual se da paso al nuevo paradigma. La estrategia fue la institucionalización del medio ambiente, estudios de impacto ambiental como forma legal de evaluar los costos y beneficios de la contaminación ambiental. Los gobiernos se preocupaban por la creación de agencias de protección ambiental, responsables del establecimiento de límites y mecanismos de corrección, complementados por instrumentos de comando y control (Negrão, 2010). Es decir, la gestión ambiental se centraba en controlar el daño, en medidas al final del proceso, en acciones defensivas-reactivas, o mejor dicho, una vez generado el daño, había que solucionarlo. La gestión ambiental en la empresa era vista como costos adicionales no redituables en términos económicos.

Administración de los recursos (Meadows, 1972). Una de las razones principales para migrar de paradigma fue el crecimiento de diversos movimientos ecológicos alrededor del mundo. Dichos movimientos reconocían la degradación del capital natural. La publicación de “Los límites del crecimiento” por el club de Roma reveló que de mantenerse las tendencias vigentes de la población mundial (la industrialización, la contaminación ambiental y el agotamiento de los recursos naturales) el planeta alcanzaría los límites naturales de su crecimiento.

Es decir, no podría existir un crecimiento sostenido sin que se degradara el medio ambiente. Por lo que las estrategias de gestión inherentes a este paradigma

incluían: eficiencia energética, conservación de recursos, reparación ecológica, monitoreo de la salud social y de los ecosistemas, adopción del principio del contaminador pagador, para internalizar los costos sociales de la contaminación (Negrão, 2010). A su vez, comienzan a evaluarse como recursos fundamentales el clima, el papel de los bosques, la fecundidad del suelo, la productividad de las pesquerías. Se impulsa la estabilidad demográfica y la reducción del consumo per cápita como base de la administración medioambiental y se reconoce el desarrollo sustentable (Gil, 2003).

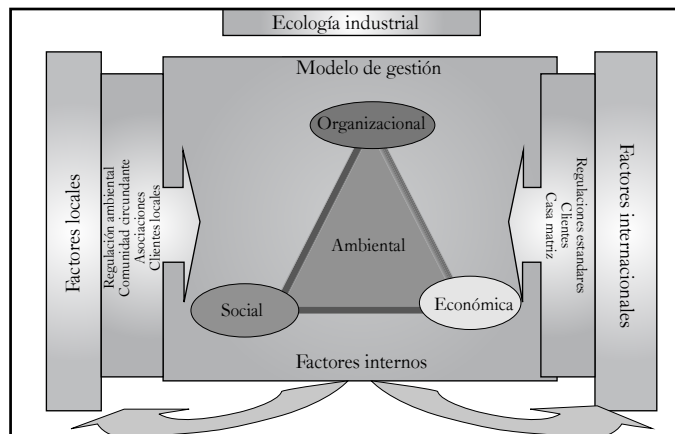
Ecodesarrollo (Sachs, 1984). Tras haber citado los paradigmas anteriores, el ecodesarrollo se coloca en las últimas tendencias de gestión ambiental de cara al futuro donde se presuponen cambios profundos tanto en la práctica, como en la forma de pensar. La gestión ambiental es reorientada hacia el desarrollo sostenible, no es más un sistema cerrado, sino un modelo de economía biofísica, es decir economía abierta, termodinámicamente en concierto con la biósfera (Georgescu-Roegen, 1971). Uno de los principales objetivos de este paradigma es remplazar el principio “el que contamina paga” por medio de la reestructuración del pensamiento y de la actividad económica. El ecodesarrollo incorpora preocupaciones culturales y de equidad social ubicando al hombre en una posición, ni por encima ni por debajo de la naturaleza, sino en co-existencia con ella. Este esquema fundamenta la co-evolución de los factores económicos, sociales y ambientales rumbo a la sustentabilidad.

La compilación de estos paradigmas ha generado la nueva conceptualización de la gestión ambiental que nos permite incorporar los principios de la ecología industrial (EI) a nivel de la empresa por medio de los modelos de gestión ambiental corporativos los cuales guían el accionar de cada empresa de forma sustentable. Es decir, nuevas formas de gestión de los recursos considerando variables económicas, sociales y ambientales (Diagrama 1).

La gestión ambiental y la ecología industrial

La evolución del concepto de gestión ambiental permite en la actualidad incorporar la perspectiva de la EI en los esquemas de gestión. De tal forma que se pueden insertar con éxito los principios de la EI en la gestión ambiental basada

DIAGRAMA 1
*Factores que modifican los modelos de gestión empresarial
 en un contexto de ecología industrial*



Fuente: modificado de Mercado y Testa (2001).

en el ecodesarrollo, hasta el punto de otorgar a las empresas nuevas formas de gestión de recursos, involucrando diversas disciplinas, cuyas bases teóricas reorientan e innovan los modelos a favor del medio ambiente.

Leenard (2005) argumenta que la EI se puede apreciar dentro de la corporación como una estrategia de gestión centrándose en varios aspectos. En primer lugar por la administración de los recursos naturales tratando de mantener una capacidad de carga global sostenible en el tiempo, en términos de los actuales y deseables patrones de gestión hacia la EI. En segundo lugar, la EI como una estrategia de gestión puede concentrarse en el diseño y gestión de los parques eco-industriales y formas similares de intercambio de materiales y energía entre las empresas (Lowe *et al.*, 1996). La infraestructura industrial puede ser diseñada como una serie de ecosistemas articulados de origen humano en interacción con el ecosistema natural que lo rodea (Tibbs, 1991; Kirsschner, 1995, citado por Leenard, 2005). Por último involucra nuevos actores tales como los planificadores y desarrolladores de la comunidad física y uso de la tierra. La incorporación de consideraciones ambientales en la explotación física del espacio, un paso más hacia el desarrollo sustentable a nivel comunitario (Leenard, 2005).

Si se aplica adecuadamente, la EI promueve la competitividad empresarial y la innovación (Lifset y Graedel, 2002). Dado que se plantea el objetivo de guiar a las empresas hacia la adopción de estrategias económicamente rentables y compatibles con el cuidado ambiental. Y aunque las aplicaciones de las herramientas de la EI son todavía relativamente raras, las empresas que las utilizan han podido percibir diversos beneficios económicos ambientales y sociales, lo que representa un ejemplo a seguir (Kronenberg, 2007). Básicamente es un enfoque orientado a la cooperación entre empresas, la creación de redes, la co-evolución de aspectos sociales, ambientales y económicos, y una herramienta práctica encaminada hacia la sustentabilidad.

Desde la lógica anterior cada empresa se debe regir bajo *un modelo de gestión ambiental*, definido como una herramienta que permite el control sistemático del desempeño ambiental que la empresa se fija para sí misma, proporcionando orden y coherencia a todos sus esfuerzos por considerar aspectos ambientales, mediante la adecuada asignación de recursos, de responsabilidades, y de una evaluación continua de prácticas y procedimientos.

La posibilidad de incorporar aspectos o principios de EI en los modelos de gestión ambiental, no se logra en formas tradicionales de gestión. Los modelos requieren tiempo y capacidad de adaptación para que puedan evolucionar. Así también, es necesaria la existencia de una serie de factores para que modifiquen un modelo empresarial y éste a su vez se adapte a nuevas formas de gestión. Por tal motivo, es de suma importancia conocer qué tipo de factores influyen en la modificación de un modelo de gestión que considera aspectos de la EI entres sus dogmas básicos de acción. En la siguiente sección se detallan los aspectos principales de un estudio de caso relacionado al tema de gestión ambiental corporativa y ecología industrial.

El enfoque de EI en los modelos de gestión ambiental

Entendiendo a la empresa como un ente dedicado a la producción de bienes y la maximización de beneficios económicos, la gestión empresarial se hace imprescindible para guiar el accionar de la organización, en busca de la satisfacción de sus objetivos. Sin embargo, a lo largo del tiempo la gestión ambiental corporativa se ha modificado. Es decir, ha evolucionado tras el

perfeccionamiento de técnicas, metodologías y procedimientos para estar en concordancia con los nuevos paradigmas imperantes. Si bien algunas empresas denotan pesar y enfado al tener que administrar modelos ambientales, algunas otras consideran ir más allá de un simple cumplimiento de la normatividad, donde la gestión ambiental se convierte en un factor estratégico.

En el paradigma del ecodesarrollo que es la última tendencia de la gestión ambiental se hace posible la inserción de algunas estrategias orientadas hacia la EI. Precisamente los temas de la gestión ambiental y la EI fueron los temas centrales de un trabajo denominado “Incorporación de la ecología industrial en los modelos de gestión ambiental como factor de innovación: caso Insa-Nhumo, corredor industrial Altamira-Tampico, Tamaulipas”. Se trató de una tesis desarrollada en 2010, dentro del posgrado de economía y gestión de la innovación de la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM).

El corredor industrial Altamira-Tampico es una zona en México que ha destacado en temas ambientales, dado que en dicha área se han desarrollado investigaciones importantes. Tal es el caso del proyecto de sinergias de subproductos (BPS), realizado en 1997 en la zona de Altamira (Carrillo, 2005), que denotó los primeros indicios de EI en el país y sentó las bases de los modelos corporativos que en la actualidad poseen muchas de las empresas alojadas en ese corredor industrial. En este contexto, se consideró de gran interés estudiar cuáles han sido verdaderamente los factores que han permitido que diversas empresas modifiquen su gestión tradicional. Por lo que la tesis consideró, como uno de sus objetivos principales, identificar qué factores han sido determinantes para influir en la modificación de dos modelos de gestión ambiental en la industria petroquímica para que éstos permitan las ecoeficiencias y sinergias contempladas en la ecología industrial.

En la siguiente sección se muestra más a detalle el contenido del estudio de caso desarrollado en Insa-Nhumo, empresas integrantes del corredor Altamira-Tampico.

Estudio de caso Insa-Nhumo

Este estudio se realizó en dos empresas pertenecientes a la industria petroquímica mexicana: Industria Negromex SA de CV (INSA) y Negro de Humo SA (Nhumo),

ambas ubicadas en el corredor industrial Altamira-Tampico, en el Estado de Tamaulipas. El análisis de los modelos de gestión ambiental vigentes en las empresas, derivó en la búsqueda e identificación de los factores que han sido determinantes para que los modelos de gestión ambiental corporativos permitieran la existencia de eco-eficiencias y sinergias consideradas en la EI que logran reducir al mínimo los impactos sobre el medio ambiente sin mermar la rentabilidad de la empresa y beneficiando el entorno social. En primera instancia es importante hacer una remembranza del entorno de las empresas analizadas.

Las empresas en estudio

La primera empresa analizada en el estudio fue INSA, que cuenta con una unidad operativa en emulsión. La producción está basada en la fabricación de caucho sintético, cuenta con una capacidad productiva de 130 mil toneladas de hule sintético por año,² satisfaciendo diversos mercados entre los que destacan el de neumáticos, zapatos y el automotriz.

Sus principales productos están distribuidos en tres familias.³ La primera hace referencia al caucho estireno butadieno más conocido como caucho SBR, sus principales aplicaciones son: en suelas de zapatos y tacones, llantas, productos industriales, goma de mascar, escurridores, tapetes para casa, selladores, artículos de esponja, selladores de contenedores de comida, etcétera. La segunda familia se refiere al caucho de nitrilo conocido como NBR, que proporciona una mayor resistencia a los aceites minerales y animales, así como al calor y a la abrasión, sus principales aplicaciones son: en suelas de zapatos, adhesivos, recubrimiento de cables y alambre, rollos para imprenta, esponjas, mangueras, etcétera. Por último la tercera familia se describe por los copolímeros acrilonitrilo-butadieno carboxilados conocidos como XNBR, son un tipo especializado de caucho nitrilo, que posee resistencia extra a la abrasión⁴ su aplicación es útil para las industrias

² Éste se obtiene a partir del procesamiento de hidrocarburos.

³ Información obtenida de entrevista con el ingeniero Julio Quevedo, responsable CASH de Insa, abril-2010.

⁴ Químicamente es un caucho nitrilo, pero modificado en la etapa de polimerización que contienen ácido grupos carboxílicos como un tipo de curado, que da las características de mayor resistencia.

que requieren de dicha resistencia y una dureza excepcional, son muy adecuados para su uso en agua.

El principal motivo de la empresa para incluir la variable ambiental en su modelo de gestión se originó en el cumplimiento de la legislación en atención a la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA), en 1994. Insa actualmente es reconocida por exceder las exigencias que marcan las regulaciones en materia ambiental, sus instalaciones son seguras y funcionales, integradas al medio ambiente gracias a la tecnología sofisticada en sus operaciones para el tratamiento de agua y control de emisiones a la atmósfera, así como la atención integral de los residuos, resultado de proyectos eco-eficientes que datan desde 1996. Obteniendo ahorros en materias primas, agua y energía, se generan ganancias adicionales por procesos de reúso y reciclaje de materiales, minimiza impactos ambientales y mejora la calidad de vida del capital humano.

La segunda empresa en estudio fue Nhumo, dedicada a la producción de negro de humo.⁵ La planta productora cuenta con una capacidad instalada de 140 mil toneladas por año. La empresa mantiene una asociación con Cabot International Capital Corporation (de origen estadounidense) líder mundial en producción y tecnología para la fabricación de negro de humo.⁶

El producto principal de fabricación es el negro de humo. Este puede ser de dos tipos distintos: reforzante y semi-reforzante. El negro de humo reforzante (“duros” o “tread”) es aquel que fortalece al hule y le permiten mayor elasticidad y resistencia al desgaste. Principalmente es utilizado en llantas, bandas transportadoras, bandas de hule-piso para renovación de llantas, suelas para calzado, tintas, etcétera. El negro de humo semi-reforzante (“suaves” o “carcass”), es utilizado básicamente en neumáticos, mangueras, bandas, cámaras para automóvil, y también como pigmentos en la obtención de tintas y bases de pinturas, artículos de plástico, concentrados de color y derivados de concreto, impermeabilizantes, selladores, etcétera.

⁵ El negro de humo es un polvo carbonáceo intensamente negro, se obtiene de la descomposición térmica incompleta de aceite altamente aromático, también se llama negro de carbón o de lámpara y es virtualmente carbón elemental puro en la forma de partículas coloidales esféricas. Su apariencia física es la del carbón en forma de pelet o polvo finamente divididos (ICBA, 1999).

⁶ Cabot International Capital Corporation es poseedora de 40% de las acciones.

Hasta antes de 1990 Nhumo arrastraba problemas de carácter productivo, organizativo y ambiental que ponían en riesgo la viabilidad de la empresa. Ésta operaba al 60% de su capacidad instalada, con 40% de producto fuera de especificación y con un volumen de residuos que ocupaba el 70% de sus instalaciones. No existía orden ni limpieza, diversas áreas se ocupaban como depósito incrementando la inseguridad dentro de las instalaciones, asimismo se descargaban aguas residuales sin ningún tipo de tratamiento a cuatro de las lagunas adyacentes. Los niveles de emisiones a la atmósfera eran muy elevados, resultado de repetidas fallas en el proceso y desfuegos junto con un fuerte desperdicio de gas en las actividades de la planta.

En el contexto anterior era necesario implementar acciones para mejorar la productividad, la rentabilidad, la seguridad, la contaminación de aguas, aire y suelo, así como el aspecto general de la empresa. El modelo de gestión ambiental tenía que ser reestructurado, el cambio en el paradigma de gestión era necesario para garantizar los resultados deseados. Es aquí donde la empresa decide incorporar la gestión ambiental a su modelo empresarial.

El principal motivo de la empresa para incluir la variable ambiental en su modelo de gestión se originó a raíz del cambio en la administración (1991), que vino acompañada de un nuevo liderazgo, el cual incluyó como factor esencial la atención y procuración del medio ambiente. Así también otro de los factores decisivos fue el cumplimiento de la LGEEPA en 1994.

En la actualidad ambas empresas pertenecen a un grupo corporativo denominado Grupo KUO, sociedad anónima bursátil de capital variable que cuenta con 11 unidades estratégicas de negocios,⁷ las cuales se agrupan en tres sectores: Consumo, Químico y Automotriz. Específicamente refiriéndonos a KUO Químico, éste comprende los negocios que manufacturan y comercializan productos químicos industriales. Este sector es el único productor mexicano de hule sintético, así cuenta con una posición en el mercado de poliestireno.

En cuanto al sistema de gestión ambiental todas las entidades productivas del grupo administran sus actividades bajo Sistemas de Administración Ambiental⁸

⁷ Dynasol, Elastómeros, Plásticos, Macro-M, transmisiones, CIE-DESC, Aftermarket, KUO Aerospace, Herdez Del Fuerte, Porcícola y Aglomerado.

⁸ SAI-CASH para los negocios del KUO Químico y el SIPRO para el KUO Automotriz.

a cargo del Comité Ambiental y Seguridad e Higiene (CASH) de cada unidad productiva. En el grupo se han detectado casos de sinergia entre empresas para homologar criterios de evaluación, incorporación de mejores prácticas y para potenciar el uso de las herramientas del sistema. Adicionalmente se mantienen bajo el sistema de Responsabilidad Integral denominado SARIS de la Asociación Nacional de la Industria Química (ANIQ).

Los modelos de gestión ambiental Insa-Nhumo

Tras varios meses de estudio se determinó que las empresas en estudio a lo largo de los años han desarrollado modelos corporativos de gestión ambiental muy similares. Éstos se rigen por un esquema de no confrontación, es decir, cooperación inter-empresarial con base en experiencias que cada una ha adquirido, y aunque sus modelos presentan diferente grado de madurez, ambos contemplan cinco pilares esenciales:

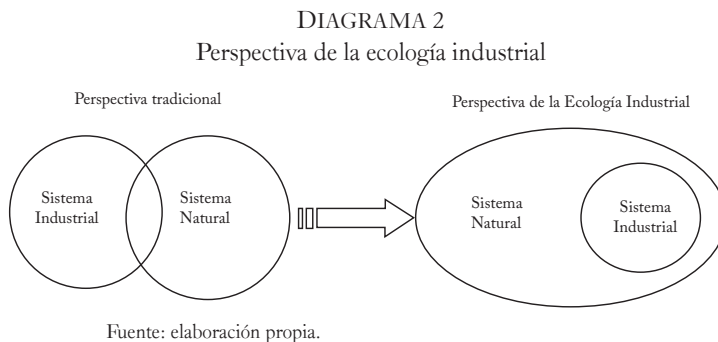
1. Una filosofía empresarial integral.
2. Principios de producción más limpia.
3. Administración de un sistema ambiental de responsabilidad integral regido en parte por una sola unidad de mando ambiental y por el régimen para industrias del sector químico establecido por la ANIQ.
4. En estatutos y convenios con la Asociación de Industriales del Sur de Tamaulipas, AC (AISTAC) en particular a su comité de Seguridad Industrial y Protección Ambiental (SIPAAISTAC).
5. Enfoque integral que contempla aspectos de ecología industrial.

Estos pilares representan la columna vertebral de la gestión ambiental corporativa de ambas empresas. A diferencia de los modelos tradicionales estos modelos permiten la inclusión de elementos de EI entre sus vértebras. Sin embargo, esta nueva orientación basada en el ecodesarrollo con miras a la EI no se logró de un día para otro, tampoco de manera fortuita. Este avance está directamente relacionado con una serie de factores que han sido determinantes en la evolución de cada modelo de gestión a través del tiempo.

Los factores determinantes rumbo a la ecología industrial

Tras el levantamiento de información y el análisis de ésta, el estudio evidenció la existencia de una serie de factores que se encontraron determinantes y necesarios para que pudieran florecer los modelos de gestión ambiental con miras a la EI que poseen las empresas petroquímicas analizadas. A continuación se aborda cada uno de ellos.

El primer factor esencial en ese tipo de modelos empresariales hace referencia a un *cambio en la forma de interpretar las cosas* (Diagrama 2). Con la incorporación de sinergias y ecoeficiencias a los modelos de gestión empresarial, se muestran innovaciones, tanto al interior como al exterior de la empresa, denotados principalmente en la mutación de un modelo lineal de producción hacia modelos cíclicos o vistos como ecosistemas naturales, donde no sólo importan las variables económicas sino también las sociales y las ambientales.



Es importante señalar que existe una marcada diferencia en la evolución de los modelos de gestión ambiental de las empresas.

Insa y Nhumo están tratando de realizar acciones que conduzcan al cierre de ciclos, logrando reducir las emisiones producidas, el control de sus vertidos y el correcto reuso, reciclaje o confinamiento de sus residuos. Sin embargo, Nhumo presenta un mayor grado de madurez en su evolución, situándose el nivel II (flujo de materiales cuasi-cíclico), dado que ha logrado el nivel cero descargas de agua, gracias a proyectos de tratamiento de aguas residuales. Sin embargo, aunque Insa trata de imitar este funcionamiento se encuentra en una etapa de

transición. El proceso de cambio del nivel I (flujos lineales) al nivel II, es mucho más lento debido a los tipos de procesos productivos que utiliza y a la gama tan amplia de productos que fabrica.

El segundo factor está referido al sustento y empuje que denotó el grupo corporativo KUO por las consideraciones ambientales y en su gestión corporativa homologada para cada una de las once unidades de negocio que controla. Es decir, Insa y Nhumo implantan su visión, misión, valores y política integral homologada, donde las estrategias de simbiosis industrial y los proyectos ecoeficientes que realizan minimizan los impactos ambientales.

El tercer factor tiene que ver con un *fuerte liderazgo* de los responsables ambientales que han sido, sin duda, uno de los factores más importantes en este caso de estudio. Sin llegar a generalizar, se puede decir que el liderazgo empresarial desempeña un papel esencial en la modificación de los modelos de gestión en algunas empresas del corredor.

El cuarto factor determinante está relacionado con un cambio de actitud de las empresas, después de presentar severas disfuncionalidades económicas y ambientales, e incluso en el caso de Nhumo ser considerada la empresa más contaminante de la zona, el lema “renovarse o morir” implementado por éstas, fue un factor que significó un impulso para modificar los patrones de conducta. Dichos cambios rompieron el esquema rutinario de acción, motivo por el cual se incentivó la innovación en la gestión empresarial.

El quinto factor importante surge a raíz de la *privatización* de ambas empresas, los asuntos ambientales no solamente fueron implantados en el nivel operativo intentando llegar a influenciar los altos mandos, sino más bien, fueron implantados en un nivel estratégico de toma de decisiones, es decir a niveles directivos. Dicha acción logró permear todos los niveles de la organización modificando la cultura empresarial referente al cuidado ambiental, motivo que facilitó la evolución del modelo de gestión.

El sexto es referente a *la cultura empresarial* como factor esencial que se corrobora para el caso Altamira, impulsado por una homologación corporativa y reforzada por el clima organizacional de cuidado al medio ambiente que impera dentro de cada empresa.

Los avances registrados a lo largo de la historia de *la política ambiental mexicana*, sin duda han presionado a las empresas a adoptar acciones más respetuosas con el medio ambiente. Para muchas de ellas, esto ha sido parte

de sus procesos regulatorios. Sin embargo, en las empresas en estudio, dichos requisitos legales también fomentaron la visión de obtener mayores beneficios al *ir más allá de lo que marca la ley*. Este séptimo factor les ha permitido mejorar la imagen de las empresas, y en el largo plazo generar beneficios económicos para sí mismas, así como también reducir los impactos ambientales.

El octavo factor es referido a dos puntos importantes, primeramente a la existencia de *fuertes lazos de confianza* que existen entre los dirigentes ambientales de cada una de las empresas asentadas en la zona industrial y en segundo término a la *cooperación interempresarial* que permite generar beneficios conjuntos. La gran cantidad de sinergias establecidas por las empresas en estudio, y por algunas otras empresas del corredor industrial, son prueba de ello. Precisamente un cambio en la cultura puede generar una diversidad de beneficios, si tan sólo se dejará de pensar en los beneficios individuales para prosperar en los beneficios conjuntos. Esta lógica también corresponde la modificación de patrones de conducta y generación de nuevas estrategias empresariales enfocadas al abandono de confrontaciones y dirigidos a acciones de cooperación.

El noveno factor es referente a la creación de un *semillero de capital humano*, dado que los dirigentes se encuentran en relación con múltiples centros de estudio por docencia o como parte del proceso de difusión de la cultura empresarial a la cual representan. Dichas acciones permiten a diversas personas como prestadores de servicio social, alumnos sobresalientes y personas en prácticas profesionales entre otros, incorporarse a dicho semillero de capital humano que se unirá a diversas instituciones u organizaciones transmitiendo el conocimiento adquirido y facilitando el mantenimiento de los lazos de confianza e incentivando la formación de redes.

El décimo factor corresponde a la presión ejercida sobre Insa y Nhumo por parte de la Asociación de Industriales del Sur de Tamaulipas, al igual que de la Asociación de la Industria Química, dichas asociaciones regulan la administración empresarial de cada una de las compañías con respecto al manejo de las consideraciones ambientales, de salud y seguridad e higiene, originadas por sus operaciones.

El onceavo factor que ha modificado la gestión ambiental es referido a la fuerte presión ejercida sobre Insa y Nhumo, por parte de la comunidad, para que éstas asuman su responsabilidad social. Por tal motivo existe contacto directo con la población, específicamente con escuelas y representantes de colonos, para

monitorear cualquier anomalía en el ambiente, esta dinámica se generó debido a algunos eventos sucedidos en los cuales se puso en riesgo su seguridad, por tanto la presión por parte de los habitantes cercanos a la zona industrial es muy fuerte.

Por último, uno de los factores más importantes en la generación de los modelos de gestión ambiental que imperan en la actualidad en cada empresa, es el referido a la existencia del proyecto BPS, generado en la zona industrial de Altamira-Tampico en 1997. Dicho proyecto surgió como una idea para iniciar un proyecto de EI en el corredor industrial, enfocado no solamente a la conservación de recursos naturales y mejora del medio ambiente, sino que también a la creación de un sistema donde se optimizara el consumo de energía y de materiales, se minimizara la generación de desechos y se favoreciera la reutilización de residuos de un proceso como materia prima para otros procesos por medio de la sinergia de subproductos. Esta iniciativa fue acuñada por Andy Mangan, quien presentó el proyecto al World Business Council for Sustainable Development (WBCSD), en un documento titulado “A Prime: By Product Synergy: An strategy for Sustainable Development (BPS)”.

El proyecto contó con la participación de tres asociaciones, el WBCSD, el Consejo Empresarial para el Desarrollo Sostenible Golfo de México (CEDES-GM) y la AISTAC. Dichas instancias compartieron la responsabilidad del proyecto BPS. A través de la primera organización se empiezan a promover este tipo de proyectos, la segunda organización conformó parte de la primera encargada de la zona de Texas y frontera nororiente de México, fue la promotora del proyecto y la vía mediante la cual se consiguió el financiamiento, por último la AISTAC proporcionó una plataforma y condiciones de trabajo además desempeñó un papel integrador entre las empresas participantes. En el proyecto participaron 21 compañías donde la homogeneidad entre las empresas participantes en cuanto a su visión, cultura laboral, papel desempeñado dentro del mercado, tipo de productos y procesos, tecnologías, etcétera, contribuyó para dar fluidez a las reglas de trabajo y participación.

Este tipo de proyectos propició un escenario de aprendizaje continuo, de intercambio de conocimientos y de cooperación interempresarial en la zona industrial que facilitó el proceso de evolución de la gestión ambiental de las empresas. En su conjunto esta serie de factores fueron encontrados determinantes para la obtención de los modelos de gestión orientados a la EI que imperan en la actualidad en las empresas. Los resultados de los proyectos ecoeficientes, de

los proyectos de sinergias y de la modificación de los modelos ambientales de las empresas, arrojaron una serie de beneficios que se engloban en el Cuadro 1.

Las acciones denotadas por las empresas, el balance de resultados obtenidos, la fuerte tendencia en las empresas de la región por construir modelos de gestión ambiental innovadores, el tipo de factores determinantes que existieron, la administración adecuada de los recursos, el diseño de estrategias en cooperación interempresarial, los indicios de forjar un eco-parque industrial por medio de sinergias y la intervención de nuevas estrategias ambientales con visiones y pensamientos diferentes a los tradicionales, son algunos de los aspectos que sientan las bases para que la EI se pueda arraigar a nivel de la empresa a partir de la implantación de modelos ambientales situados en el ecodesarrollo.

Conclusiones

A lo largo del tiempo, las prácticas, procedimientos, políticas y lineamientos que las empresas se fijan para sí mismas en un modelo de gestión ambiental, pueden evolucionar si encuentran las condiciones propias para hacerlo y si aprenden a adaptarse a los entornos imperantes.

El estudio de caso Insa-Nhumo, que se revisó en la sección anterior, arrojó como resultado una serie de factores determinantes para la modificación de los modelos de gestión ambiental en dos empresas pertenecientes al corredor industrial Altamira-Tampico, en el estado de Tamaulipas.

De forma general, si dichos factores se clasificaran como internos o externos a las empresas, se podría observar un panorama más amplio y comprender cómo son reformados los modelos ambientales corporativos. Los factores internos tienen que ver con decisiones que se generan en el interior de las empresas, como pueden ser: el fuerte liderazgo a nivel individual y a nivel corporativo, la búsqueda incesante de la reducción de costos, el cambio de administración hacia una cultura empresarial en pro del cuidado ambiental, los proyectos ecoeficientes, la necesidad imperante de mejorar la gestión ambiental dada la evidente contaminación existente en la zona, la presión por parte de los trabajadores de mejores condiciones laborales y la reducción de riesgos, la presión por cumplir con el marco normativo, la implementación de tecnologías limpias y por último una apuesta al futuro, entendida como estrategias con una visión a largo plazo.

CUADRO 1
Balance de beneficios

Económicos

- Existió recuperación económica en el mediano y largo plazo tras poner en práctica proyectos ecoeficientes.
- Se redujeron los costos energéticos por uso de energías alternas.
- Evidente ahorro en costos de adquisición de insumos vírgenes tras la utilización de material de reúso.
- Máximo aprovechamiento de recursos.
- Adopción de estrategias innovadoras que dan dinamismo al sector.
- El reciclaje y reúso de insumos y la minimización de desechos permitieron la reducción en costos de traslados.
- Reducción o eliminación de gastos de remediación.
- Aprovechamiento de una gran cantidad de material fuera de especificación.
- Alianzas estratégicas para aprovechar las múltiples oportunidades que ofrecen los mercados locales y globales.
- Mejoró la imagen de las empresas ante clientes, proveedores y comunidad.

Sociales

- Se mejoró la calidad de vida respecto a la salud humana.
- Se involucró a las escuelas en proyectos relacionados al medio ambiente.
- Se crearon redes sociales y de conocimiento para seguir fomentando el tema en las nuevas generaciones.
- Se crearon nuevas áreas de oportunidad que activan la economía permitiendo la creación de nuevas fuentes de empleo que repercuten en mejoras en la calidad de vida.
- Se motivó la convivencia familiar al involucrar a los trabajadores y sus familias en eventos de difusión de la cultura ambiental.
- Se fomentó la cooperación interempresarial y en relaciones laborales superando confrontaciones o rivalidades de los sistemas tradicionales.
- Se buscó solucionar los problemas o retos a los que se enfrenta el gobierno, las empresas y la comunidad de manera conjunta.

Ambientales

- Se redujeron las emisiones atmosféricas.
- Se dio la recuperación de los ecosistemas naturales que rodean a las plantas.
- Se obtuvo el uso sustentable del agua.
- Se disminuyó el consumo de combustibles fósiles.
- Conservación de la fauna típica del lugar.
- Se mejoró la condición de ríos, lagos y lagunas tras presentar en los indicadores menor grado de contaminación del agua.
- Se crearon espacios verdes que mejoraron la apariencia de la zona, sirviendo como sumidero de CO₂ y permitiendo la convivencia social.
- Se minimizó el impacto ambiental.
- Se buscó el equilibrio de la naturaleza entre fuente de recursos y sumidero de residuos tras el reúso, reciclaje o reutilización de subproductos y residuos generados.

Fuente: elaboración propia.

Los factores externos pueden ser vistos como acciones que no fueron generadas propiamente en el interior de las empresas y que tienen que ver con las presiones del exterior; tenemos un marco jurídico ambiental en materia nacional e internacional, la presión de la comunidad al exigir mayor responsabilidad a la empresa por sus acciones contaminantes que merman su calidad de vida. La presión de la AISTAC, al igual que la de la ANIQ, por regular los estándares de contaminación, por mostrar mayor respeto a las consideraciones ambientales e incentivar las buenas prácticas de manufactura. Las relaciones de cooperación interempresarial que derivan en fuertes beneficios conjuntos para las empresas, dado que las acciones de una afectarán a todas. Los lazos de confianza que incentivan la formación y permanencia de redes y de proyectos de sinergias de subproductos. La compatibilidad con diversos procesos productivos de otras empresas petroquímicas que existen en el corredor industrial y la cercanía entre éstas.

En un contexto general inmerso en la EI, los factores internos y externos a las empresas presionan o regulan a los modelos ambientales para ir moldeándolos o modificándolos, del mismo modo estos modelos exteriorizaran las prácticas o acciones que emprendan, cambiando las rutinas y las condiciones en las que se encuentran local e internacionalmente. Estas acciones crearán un proceso circular, en el que cualquier factor que se modifique generará un nuevo cambio en el modelo corporativo, permitiendo su evolución si y sólo si, éste aprende a adaptarse a dichos cambios. La siguiente figura puede darnos un mejor entendimiento de este proceso de forma visual.

Bibliografía

- Boulding, Kenneth E. (1966), “Economic Analysis. New York: Harper and Row”, vol. 1, p. 22.
- Carrillo, G. (2009), “Una revisión de los principios de la ecología industrial”, *Argumentos*, vol. 22, núm. 59, México, pp. 247-265.
- (2005), “Ecología industrial y sustentabilidad. El Proyecto Sinergia de Subproductos en Altamira-Tampico”, tesis de doctorado, Jordi Roca Jusmet (dir.), Universitat de Barcelona, Facultat de Ciències Econòmiques i Empresarials, España.
- Carson, Rachel (1962), “Silent Spring”, en Diane Ravitch (ed.), *The American Reader: Words that Moved a Nation*, Nueva York, HarperCollins, 1990, pp. 323-325.

- Colby, Michael E. (1990), "Environmental Management in Development: The Evolution of Paradigms", World Bank Discussions Papers, junio, núm. 80, pp. 193-213.
- Devall, Bill y Sessions George (1985), *Deep Ecology: Living as if Nature Mattered*, Layton, UT, Gibbs Smith.
- Díaz López, Fernando J. (2003), *Innovación tecnológica y ambiente: la industria química en México*, México, Sans Serif Editores, Universidad Autónoma Metropolitana.
- Forward, y Mangan (1999), "By-product synergy", en *The Bridge*, National Academy of Engineering, vol. 29, pp. 12-15.
- Georgescu-Roegen (1971), *The entropy Law and the economic process*, Londres, Harvard University Press.
- Gil, J.M. (2003), "La contabilidad de gestión en los paradigmas de administración medioambiental", *Revista iberoamericana de contabilidad de gestión*, núm. 1, Argentina, Universidad Nacional de la Patagonia Austral, pp. 137-153.
- Kronenberg, Jakub (2007), *Ecological economics and industrial ecology: a case study of the integrated product policy of the European Union*, Estados Unidos, Routledge, Taylor & Francis Group.
- Kuhn, Thomas S. (1970), *The Structure of Scientific Revolutions*, Chicago/Londres, The University of Chicago Press.
- Leenard, Willem Baas (2005), *Cleaner production and industrial ecology: dynamic aspects of the introduction and dissemination of new concepts in industrial practice*, Netherlands, Eburon Academic Publishers.
- Lowe, E., Stephen R. Moran y Douglas B. Holmes (1996), *Fieldbook for the Development of Eco-Industrial Parks*, Final Report, Research Triangle Park, N.C. Research Triangle Institute.
- Meadows, D. (1972), *Limits to Growth: A Report for the Club of Rome's Project on the Predicament of Mankind*, New American Library.
- Mercado, A. y Testa P. (2001), *Tecnología y ambiente, el desafío competitivo de la industria química y petroquímica en Venezuela*, Venezuela, Fundación Polar Caracas.
- Naess, Arne (1973), "The shallow and the deep, long range ecology movements: a summary", *Inquiry*, Oslo, vol. 16.
- Reid, Lifset y Thomas E. Graedel (2002), "Industrial ecology: goals and definitions", en *A Handbook of Industrial Ecology*, Reino Unido, Cheltenham, Edward Elgar (ed.).
- Sachs, I. (1984), "Las estrategias del ecodesarrollo", *Ceres*, núm. 100, vol. 17, Brasil.
- Tibbs, Harden (1991), *Ecología industrial: una agenda ambiental de la industria*, Arthur D. Little y Technology Inc. Dirección de Desarrollo de Productos y el Centro de ADL para la Garantía de Medio Ambiente.

Páginas en internet

- Asociación de Industriales del Sur de Tamaulipas (n.d.), Nuestra Historia [<http://www.aistac.org.mx/seccion.php?categoria=11>], actualización: 3 de marzo de 2010, fecha de consulta: 16 de julio de 2010.
- Industrias Negromex (n.d.), Acerca de la empresa: Nuestra Historia y Nuestros logros [<http://www.negromex.com/es/info.asp>], fecha de consulta: 10 de abril de 2010.
- International Carbon Black Association (ICBA) (1999), Carbon Black User's Guide, Woverhampton [www.cabot-corp.com/cws/Corporate.nsf/CWSID].
- Mangan A. y Olivetti E. (2007), By-product synergy networks, driving innovation through waste reduction and carbon mitigation [<http://www.usbcd.org/resources/documents/Clean%20Tech%20BPS%20Networks.pdf>], fecha de consulta: 18 de octubre de 2010.
- Negrão Cavalcanti Rachel (2010), Gestión Ambiental [<http://www.estrucplan.com.ar/Articulos/verarticulo.asp?IDArticulo=740>], fecha de consulta: 8 de junio de 2010.

CAPÍTULO IX

Un modelo de gestión ambiental en la industria de alimentos

Jorge Fernando Morales Téllez

Para la industria de alimentos como para muchas otras industrias, la utilización óptima de sus recursos es un objetivo central que ha estado siempre presente, sin embargo, en los últimos años surge otra preocupación que se ubica en el mismo nivel de interés: ¿cómo aprovechar los residuos que se generan en el proceso productivo? El propósito de este capítulo es revisar los modelos de gestión del agua y manejo integral de residuos sólidos en una planta de la industria de alimentos, con la finalidad de identificar posibles alternativas y áreas de oportunidad vinculadas con el aprovechamiento de subproductos y aguas residuales que se generan en los procesos industriales.

En materia de agua el reto es generar una propuesta para la reducción de la demanda de agua y lograr la “descarga cero”¹ en esta planta, para incrementar el rendimiento, mediante iniciativas de reutilización, reciclaje y protección de las fuentes de suministro, a través de un modelo de gestión ambiental basado en el sustento teórico de la ecología industrial.

En materia de residuos sólidos, se trata de identificar alternativas que disminuyan la cantidad de éstos, que son canalizados a los rellenos sanitarios y tratar de desarrollar estrategias de recuperación e intercambio a partir de la identificación de ecoeficiencias y/o sinergias buscando nuevas tecnologías para

¹ Se entiende por descarga cero al uso o reaprovechamiento del agua utilizada en la empresa sin que ésta tenga su desborde en el drenaje local, dicho reaprovechamiento puede darse en el mismo proceso productivo o en otras actividades de la empresa (riego de áreas verdes, uso en sanitarios, etcétera).

el aprovechamiento óptimo de los residuos industriales, para garantizar la mayor rentabilidad posible y el menor impacto al ambiente.

Existe una gran dificultad para resolver la problemática de la escasez del agua o erradicar la generación de residuos sólidos en la industria alimenticia, sin embargo es importante tener un acercamiento al problema para identificar qué estrategias se están llevando a cabo en la planta específica, relativo a la gestión del agua y en el manejo integral de residuos sólidos e identificar los procesos y agentes que intervienen en los mismos, así como plantear en la medida de posible un modelo de gestión alternativo que podría complementar el ya existente.

La gestión ambiental en la industria de alimentos

La gestión ambiental se define como:

[...] la relación que se produce entre gestión, medio ambiente y empresa, la cual conlleva a una modificación de los objetivos empresariales para el logro de los mismos, y hace necesario que las organizaciones asuman su propia responsabilidad social, que contemple no sólo una responsabilidad exclusiva hacia los trabajadores, sino también una responsabilidad ambiental hacia la sociedad (Durán, 2007).

Las iniciativas voluntarias de las empresas, enmarcadas en sus prácticas de responsabilidad social, desempeñan un papel significativo para la integración de los asuntos sociales y ambientales en las estrategias y las actuaciones empresariales. Estas iniciativas traducen el compromiso del sector en favor del desarrollo sostenible, la innovación y la competitividad.

Algunas empresas tienden a modificar y desarrollar nuevos procesos industriales que tratan de reducir la contaminación y aumentar la recuperación de subproductos, agua y energía, ya que la armonización entre la competitividad y la protección ambiental es una condición necesaria para la expansión industrial.

La estrategia de la gestión ambiental en la industria es un elemento esencial de la competitividad a mediano y largo plazo, aunque pueda originar costos adicionales en el corto plazo, los costos ambientales generados por las actividades productivas pueden ser considerados como el costo de la *no calidad o la ineficiencia de los procesos productivos*.

El resultado de la gestión ambiental es la disminución de los costos ambientales, los cuales desencadenan en la industria modificaciones, que no sólo afectan a la forma de producir, sino que repercuten en la selección de los objetivos sociales, en los procesos de investigación y el desarrollo de nuevos productos, en la estrategia comercial, en los esquemas organizativos y en los sistemas de gestión y control. El resultado que se persigue es el aumento de la competitividad como consecuencia de la integración de la función ambiental a la gestión de calidad total de la planta.

Por otro lado, ya en materia del estudio de caso, la planta analizada ha implementado acciones ambientales que van desde la reducción en el consumo de agua en sus procesos productivos, hasta la investigación e implementación de tecnologías para disminuir el impacto ambiental de sus procesos, cabe señalar que en el departamento de sustentabilidad se realizan investigaciones de las cuales surgen ideas que son complementadas y desarrolladas por consultores y contratistas externos.

En el 2002 esta planta puso en marcha un Sistema Integrado de Gestión Ambiental,² como respuesta al cuidado y protección del medio ambiente. Siguiendo con la sustentabilidad, han tratado de minimizar los impactos ambientales que generan en cada uno de sus diferentes niveles de operación; desde reducir el agua que se usa durante los procesos de producción, hasta recurrir a fuentes de energía renovables en la planta.

El sistema de gestión ambiental que maneja se basa en ISO 14000 (aspectos ambientales de estandarización internacional) principalmente pero ha ido evolucionando y enriqueciéndose con otros aspectos que ya manejaban, como ISO 9000, HACCP, Industria Limpia, Kaizen y Empresa Socialmente Responsable, lo que fomenta acciones y posturas a largo plazo, que son incorporadas dentro de su misión, visión, valores y objetivos, vistos como requisitos para competir a nivel internacional, lo que conforma un sistema único y personal.

La planta no sólo cubre los requerimientos básicos que el gobierno estipula en materia ambiental, sino que va más allá de la normatividad vigente. Las medidas ambientales tomadas le han significado que el gobierno mexicano les

² Sistemas de gestión ambiental: “ideas o métodos encaminados hacia el logro del desarrollo sustentable, que se interrelacionan entre sí y se apoyan en herramientas que proporcionan información cuantitativa” (Durán, 2007).

haya otorgado la certificación de “Industria Limpia”. Desde el 2007 y bajo el programa “Comprometidos con el Medio Ambiente”, se han realizado de manera institucional y estandarizada proyectos ambientales que contienen más de 80 prácticas distribuidas en cinco líneas de acción: ahorro de energía, reducción de emisiones, ahorro de agua, manejo integral de residuos sólidos y responsabilidad social empresarial en materia de medio ambiente, aspectos que se describen a continuación.

Ahorro de energía. Las medidas tomadas para el ahorro de energía fueron la adquisición de equipos que evitan pérdidas de energía y recuperan el calor, uso de domos que aprovechan al máximo la luz natural y celdas solares para calentar agua utilizada en diferentes procesos.

En energía eléctrica se logró disminuir el consumo en un 5%; y en energía térmica (la cual es fundamental para la elaboración de sus productos) se logró la reducción en un 6.3%, con respecto al año 2007.

Reducción de emisiones. La reducción de las emisiones liberadas al ambiente derivadas de los procesos de producción, se logró al mejorar la tecnología, carburación, motores y tipo de combustible usados. Estas medidas han sido cuantificadas en un ahorro de litros de combustible menos, a través de estas acciones y siguiendo controles en la planta, se dejaron de emitir algunas toneladas de CO₂ a la atmósfera. Además, la planta mide sus emisiones de gases de efecto invernadero, mismas que reportan de manera voluntaria a la Semarnat.

Ahorro de agua. Se logró disminuir el consumo de agua en un 9% con respecto al 2007, además aumentó en un 33% la cantidad de agua reutilizada en servicios auxiliares, a partir de la operación de un sistema de tratamiento de agua.

Manejo integral de residuos sólidos. Disminuyó la generación de residuos en un 15% en relación con el 2007, se establecieron varias líneas de investigación para el desarrollo de materiales de empaque que minimicen el impacto al ambiente, en conjunto con los centros públicos de investigación del Conacyt.

En el 2008, se impulsó el lanzamiento de empaques hechos a partir de plásticos oxobiodegradables, los cuales reducen el periodo de degradación del

plástico entre 3 y 5 años; en lugar de 100 a 400 años que le toma al plástico convencional integrarse a la tierra. Asimismo, el 12 de mayo del 2009, anunció que comenzó a utilizar en sus productos empaques de polipropileno metalizado con un aditivo pro degradante que añade la función de degradación (entre 3 y 5 años) una vez completada su vida útil, y de esta manera contar con los empaques degradables metalizados en todos sus productos para finales del año 2010.

Además, se adoptaron criterios de responsabilidad social corporativa (RSC) en la gestión empresarial que implicó la formalización de políticas y sistemas de gestión en los ámbitos económico, social y ambiental; también, la transparencia informativa respecto de los resultados alcanzados en tales ámbitos; y, finalmente, el escrutinio externo de los mismos, “gestionar una empresa de forma que rebase las expectativas éticas, legales, comerciales, medioambientales y públicas que una sociedad tiene de los negocios”.

Cabe mencionar que formaron parte de la Comisión de Estudios del Sector Privado para el Desarrollo Sustentable (Cespedes), representante en México del Consejo Mundial Empresarial para el Desarrollo Sustentable (WBCSD, por sus siglas en inglés). Colaboraron también con el Centro de Información y Comunicación Ambiental de Norteamérica (Ciceana), y apoyan al Congreso Mundial de Áreas Verdes (Wild 9, Mérida) organizado por diversas organizaciones ambientales de México y el extranjero.

Para sus operaciones ha diseñado el Sistema Integrado de Gestión Ambiental (SIGA), este sistema equivalente a la certificación ISO 14000, se orienta a las características esenciales de la organización y considera elementos de control operacional, evaluación de la eficiencia en esta materia y hacer posible la continuidad de sus operaciones. Esto para que las decisiones se realicen buscando la sustentabilidad del negocio en sus tres pilares básicos:

1. La preservación del medio ambiente.
2. El crecimiento social.
3. El crecimiento económico para garantizar la integridad del capital intergeneracional.

Gracias a la aplicación de los procedimientos del SIGA a nivel operacional, ha podido cumplir con la normatividad ambiental, que cambia rápidamente. Así, ha logrado actualizar los requisitos y adecuar sus operaciones al entorno. La

planta se apoya también en un equipo de personas que conocen las regulaciones ambientales y revisa de manera continua la evolución de los temas en este campo, con el propósito de detectar aquellos factores que pudiesen generar cambios en la operación y poder anticiparse a los mismos.

La dirección se preocupa por preservar el ambiente, al procurar integrar los aspectos ambientales a su administración, enfocándose en tres áreas principales:

1. Visión integral de las cadenas de suministro.
2. Control y mejora sistemática de sus instalaciones y procesos productivos.
3. Cuidado del agua como elemento clave de la administración ambiental.

Dentro de la planta se llevan a cabo diversos procesos de producción de los productos que se comercializan: papas y frituras de harina y maíz. El proceso inicia cuando se surte la materia prima, ya sea de procedencia nacional o extranjera, para el caso de las papas, son de procedencia nacional, particularmente del norte del país (Aguascalientes principalmente). Una vez que se haya adquirido el producto (cacahuate pelado, las papas, el maíz y la harina) es almacenado en bodegas, siendo para el caso de las papas bodegas a granel y en cajas a bajas temperaturas para evitar que germinen. Es en la industrialización donde los productos adquieren sus características particulares, y sus residuos específicos, mismas que se describen a continuación:

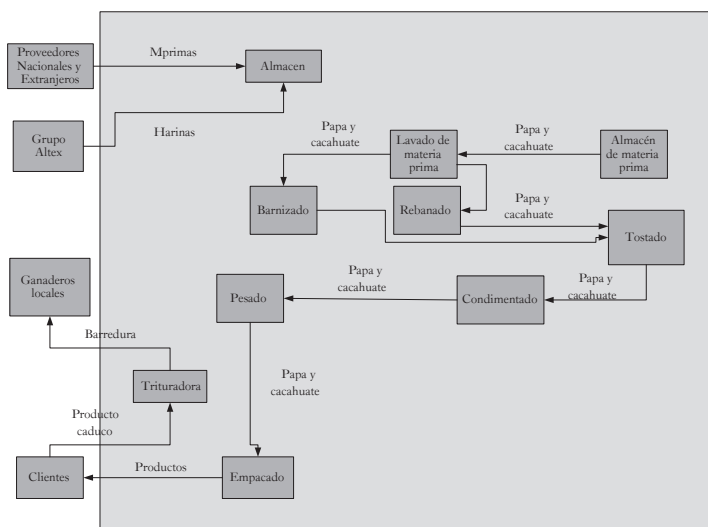
1. *Cacahuates*. El cacahuate inicia el proceso con el lavado con aire y agua a presión para que se les retire la membrana y con ello poder pasar al proceso de barnizado y tostado. Una vez que esto haya concluido, se hace una clasificación entre los cacahuates enchilados, salados, japoneses y hot nuts, mismos que pasan a ser condimentados para adquirir sus sabores y particularidades. Ya concluido dicho proceso, el producto es pesado y empaquetado para su comercialización. Durante el proceso productivo para la elaboración de este producto se generan los siguientes residuos: membrana (cáscara), aceite vegetal, recorte de empaques y contenedor de los empaques.
2. *Papas*. Para el caso de las papas, éstas son lavadas con agua a presión, una vez limpias se cortan y se fríen, es importante destacar que el PH del aceite es medido constantemente para determinar la calidad del mismo de forma

automática y si es necesario remplazarlo. Un vez que se tienen las papas fritas, pasan a ser condimentadas en sus distintos tipos ya sean saladas, enchiladas, etcétera. Para posteriormente ser pesadas y empaquetadas. Durante este proceso se generan como residuos: agua sucia, lodos y aceite vegetal.

3. *Frituras de harina y maíz*. En cuanto a las frituras, éstas requiere un proceso más elaborado, el cual parte del lavado del maíz, el mismo se muele, la masa que resulta se mezcla con harina, posteriormente se vuelve a moler para que se haga más fina y una vez que se tiene dicha mezcla, pasa por una banda donde es extendida, cortada, moldeada y precocida, ya con las formas del producto, se lleva a freír y condimentar para finalmente pesarse y empaquetarse para su comercialización. En este proceso se genera: aceite vegetal, desperdicio de tortilla, agua sucia y lodos.

DIAGRAMA 1

Flujo del proceso productivo de la planta



Fuente: elaboración propia.

Cabe mencionar que en la planta se producen 10 ton. de lodos residuales diarias, y los problemas a los que se han enfrentado son: altos costos para su tratamiento y su traslado, adoptar la tecnología adecuada para ser procesados,

falta de incompatibilidad en las capacidades de producción o las distancias con otras empresas interesadas en estos lodos residuales (falta de sinergias).

La planta cuenta con un área para el proceso productivo en la que se fabrican botanas como cacahuates, papas y frituras de harina de maíz, cuentan con un almacén para materias primas, con un área para carga y descarga de productos, con oficinas en donde se realizan actividades administrativas de la planta, estacionamiento, taller para el transporte, cuentan con áreas verdes y de esparcimiento para los empleados. En cuanto a las acciones ambientales que se realizan se cuenta con una planta de tratamiento de aguas residuales, una planta de tratamiento de lodos residuales, pozos para la extracción de agua potable, área de tratamiento de agua para que sea apta para el proceso productivo, área de confinamiento para residuos peligrosos (llantas y aceites), dentro de la planta implementan la separación de basura de la siguiente forma:

- 1 Basura orgánica, la cual compacta y procesan para realizar composta (abono para plantas).
- 2 Basura inorgánica recuperable, como papel, cartón, vidrio, plástico, madera, de los cuales algunos son reciclados (cartón, madera, papel y plástico) y otros son vendidos a intermediarios para ser procesados.
- 3 Otros inorgánicos no recuperables, los cuales son recogidos por una empresa para ser trasladados a un tiradero.
- 4 Residuos peligrosos, los cuales son principalmente las llantas y el aceite de los vehículos de reparto, éstos se confinan en la planta y posteriormente se paga para que sean manejados y trasladados por una empresa especializada en este tipo de residuos.

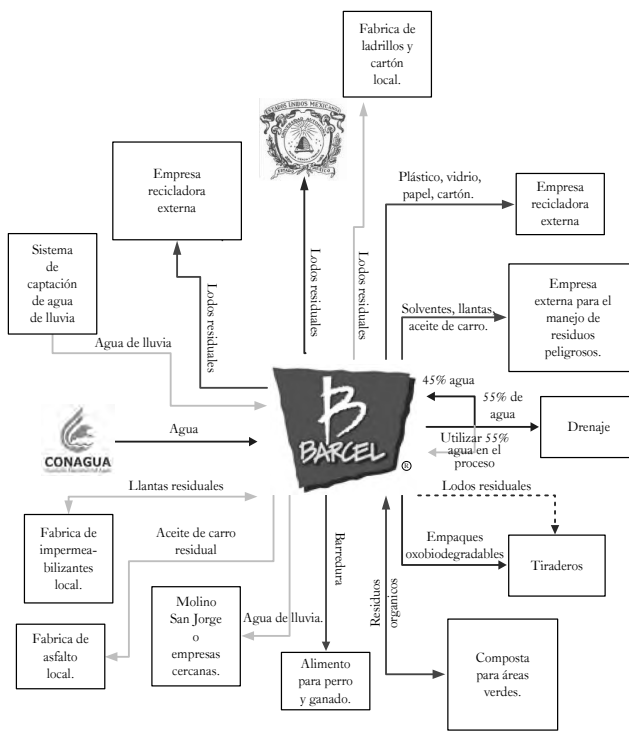
Gestión de residuos sólidos en la planta

El manejo integral de los residuos sólidos combina flujos de residuos, métodos de recolección, sistemas de separación, valorización y aprovechamiento del cual derivan beneficios ambientales y económicos que resultan en la aceptación social con una metodología versátil y práctica que puede aplicarse a cualquier región.

Esto puede lograrse combinando opciones de manejo que incluyen tratamientos que involucran el reuso, reciclaje, compostaje, biogasificación, tratamiento

mecánico-biológico, incineración con recuperación de energía, así como la disposición final en rellenos sanitarios. El punto clave no es cuántas opciones de manejo se utilicen, o si se aplican todas al mismo tiempo, sino que sean parte de una estrategia que responda a las necesidades y contextos locales o regionales, así como a los principios básicos de las políticas ambientales en la materia. A continuación se presenta el diagrama de flujo de residuos sólidos de la planta y algunas posibles sinergias o acciones a realizar.

DIAGRAMA 2
Flujo de residuos sólidos de la planta



Descripción	Flujo residual
Materias primas	→
Productos	→
Intercambio interno del proceso	→
Energía	→
Agua	→
Residuos	→
Propuestas/alternativas de nuevas sinergias	→

Fuente: elaboración propia.

En lo que corresponde al flujo de residuos sólidos en la planta se realizan las siguientes acciones: la barredura que se genera de todas las devoluciones de botanas (cacaahuates, papas, frituras de harina de maíz) que tienen, se muelen para que posteriormente sirva como materia prima para la fabricación de alimento para ganado, con los residuos orgánicos generados por la planta, éstos son compactados para posteriormente ser depositados en un área que tienen destinada para la elaboración de composta, esta composta es utilizada como abono para las áreas verdes de la planta, los empaques con los que se envuelven los productos finales son oxobiodegradables (tienen la ventaja que se desintegran en un tiempo de entre 3 y 5 años) los lodos residuales son vertidos en tiraderos, y una parte es vendido a la Facultad de Agronomía del Estado de México y otra parte a los agricultores locales, actualmente la planta realiza descarga del 55% de agua al drenaje municipal, lo que quiere decir que del 100% del agua que utiliza el 45% es reciclada y reutilizada para el riego de áreas verdes, servicio de sanitarios, lavado de camiones.

Cabe destacar que en la planta no se cuenta con drenajes separados, es decir, uno para las actividades que se realizan dentro de la planta y otro para el manejo del agua de lluvia, ésta representa una oportunidad, ya que podrían captarla y utilizarla en parte del proceso productivo o reutilizarla para el riego de áreas verdes, servicio de sanitarios, lavado de camiones (posible ecoeficiencia).

Por otra parte, para el manejo de residuos peligrosos como son aceites de carro, llantas y solventes, la planta cuenta con un área de confinamiento para que posteriormente sean manejados por una empresa externa, la cual se encarga de reciclarlos (como combustible, para realizar asfalto y pinturas), otros residuos como: papel, cartón, vidrio, madera, plástico, PET, son vendidos a una empresa externa la cual se encarga de su reciclaje, principalmente para la producción de esos mismos productos. Los lodos residuales que se generan del proceso y del tratamiento del agua podrían emplearse en la fabricación de cartón, laminas, corcho, ladrillos, o como abono (área de oportunidad y detección de posible sinergia con fábricas locales y agricultores locales). El aceite de carro podría utilizarse en el acabado de muebles, como madera para la construcción o para la fabricación de asfalto (área de oportunidad y posible sinergia).

Los posibles tratamientos para los lodos residuales generados por los procesos productivos planta, son los siguientes:

1. Lodos y depuración grosera: se puede utilizar Plasma o un proceso de Pirolisis, para su tratamiento.
2. Lodos pueden tener diferentes usos y aplicaciones como son: en la industria cerámica, industria del cemento, fabricación de cartones compactos, aplicaciones agrícolas directas, compostaje, recuperación de carbonato cálcico, fabricación de láminas de cartón y corchos.

Un manejo alterno de los lodos residuales, podría ser intentar diversificar y crear una empresa que recolecte, transforme y fabrique subproductos que se generen a través de estos residuos, lo cual podría ser una forma de darle uso, sin que esto le represente un gasto o problemas en su manejo y que por el contrario podría traer un beneficio económico a la planta.

Gestión del agua en la planta

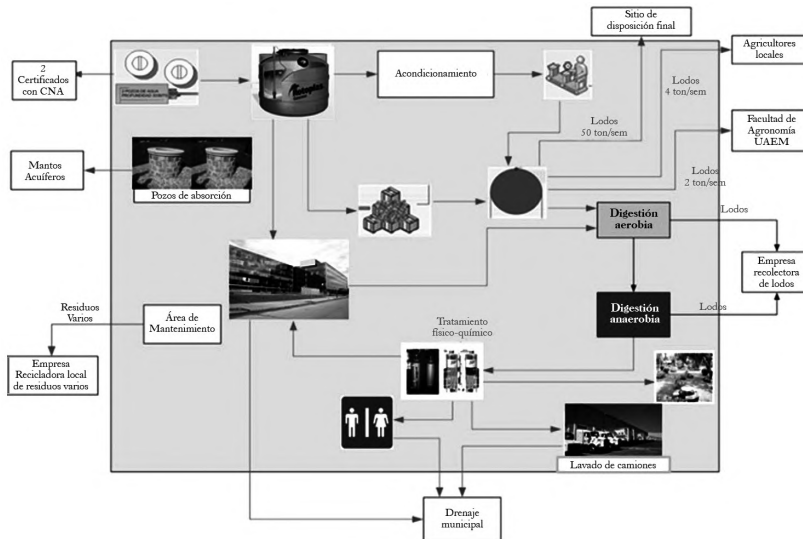
Otro de los aspectos que se analiza es la gestión del agua, la cual debe contemplar al menos los objetivos siguientes: garantizar el proceso productivo, asegurar las necesidades de costos y de suministros, reducir la contaminación y su costo, la necesidad de tomar medidas para la conservación de este recurso tan importante para la vida, el agua debe ser reciclada y reutilizada dentro de las propias producciones, y cuando finalmente deban ser dispuestas como un efluente no deben causar impacto negativo sobre el medio ambiente de acuerdo con el cumplimiento de los aspectos legislativos vigentes, las aguas tanto residuales como para su uso en la industria y los servicios deben ser controladas desde los puntos de vista de su cantidad y calidad, es necesario particularizar cada utilización del agua para decidir la calidad que se requiere y su volumen, el agua debe verse vinculada a los consumos de energía, ya que un aumento de su consumo o un mal tratamiento o utilización de ésta son responsables de un aumento considerable de los gastos energéticos de las empresas, identificar los puntos que signifiquen ahorros inmediatos con pequeñas inversiones, localizar posibles ahorros de mayor cuantía que requieran inversiones y evaluar su rentabilidad y crear una cultura y educación empresarial sobre la necesidad del uso racional del agua y evitar su contaminación con residuos de diferentes tipos.

Entre los usos específicos del agua en la industria están los relacionados con el proceso productivo, en general este es el uso más importante después de la refrigeración, estos usos deben cumplir con las normas mexicanas de calidad del agua, como son: NOM-230-SSA1-2002 y NOM-127-SSA1-1994, salud ambiental, agua para uso y consumo humano, requisitos sanitarios que se deben cumplir en los sistemas de abastecimiento públicos y privados durante el manejo del agua y los límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización.

Por lo cual es fundamental el conocimiento exhaustivo del uso del agua, especificado en caudales y calidades usadas, pérdidas y cargas contaminantes producidas, por procesos de producción, de acondicionamiento y de depuración, así como caudales, calidades de recirculación y reutilización, aspectos que pueden analizarse de manera gráfica en forma de diagrama.

Conocida la situación a través del diagrama, éste nos puede ayudar para definir las actuaciones de los diversos agentes, detección de ecoeficiencias y la identificación de áreas de oportunidad, a continuación se presenta el diagrama de flujo de agua de la planta.

DIAGRAMA 3
Flujo de agua de la planta



Fuente: elaboración propia.

El agua potable en la planta es obtenida de dos pozos de extracción, los cuales se encuentran a una profundidad de 300 m., el uso del agua en el proceso productivo (lavado de materias primas y maquinaria) del cual una parte se recupera y otra parte se descarga al drenaje, que se recupera 45% aproximadamente y se usa para regar áreas verdes en baños y lavado de camiones.

Dentro de las acciones que implementa la planta se encuentran: ahorro de agua de un 45% del total que se consume (300m³ aprox. diarios), el agua no se reutiliza en el proceso productivo, cumplen con las normas de descarga (muy por debajo de los límites establecidos), cuentan con tres pozos de absorción para captar agua de lluvia y de esta manera re abastecer los mantos acuíferos, cuentan con dos certificados expedidos por la Comisión Nacional del Agua (Conagua), para la extracción de agua (con una temporalidad de 10 años), instalaron medidores por áreas para conocer el consumo mensual y así tratar de implementar acciones para reducir el mismo, cuentan con una planta de tratamiento (físico y químico) con una capacidad de 10 litros por segundo.

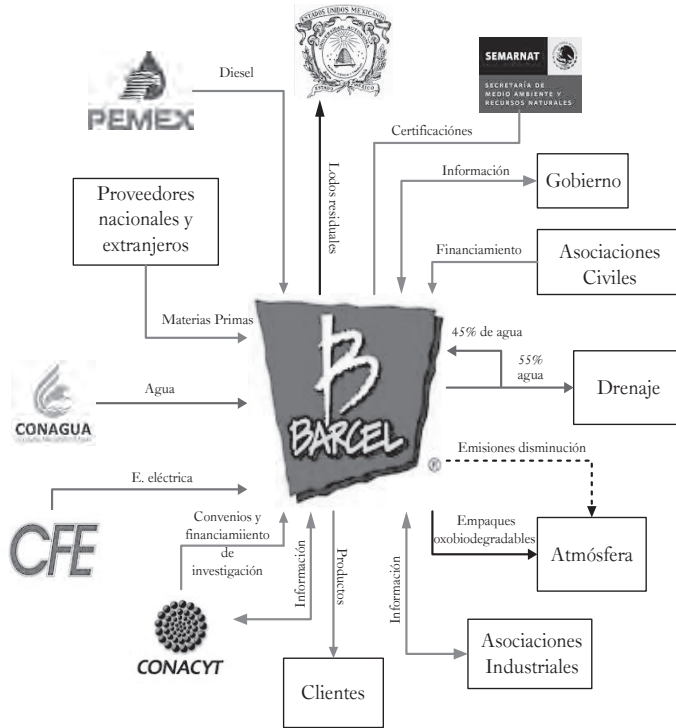
Difusión de acciones ambientales y vinculación de la planta

En el Diagrama 4 se identifican diversos agentes que se vinculan con la planta y posibles sinergias.

Entre sus proveedores se encuentran algunos grupos de agricultores de la región de San Luis Potosí, a los cuales les otorgan fideicomisos para que éstos aseguren su producción de leche de cabra, papas y cacahuates. Cabe mencionar que la planta le solicita a sus proveedores que cuenten con certificación de “industria limpia”, mismas que los ayuda al darles información y capacitación sobre este tema para facilitarles su incursión en este tipo de prácticas ambientales.

La planta tiene relaciones con algunas instituciones como la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat) (por la certificación de industria limpia, realiza auditorias anuales a las plantas del grupo), Gobierno del Estado de México, Consultores (desarrollan proyectos y realizan auditorias para el grupo), el Instituto Mexicano de la Propiedad Intelectual (IMPI) (para el registro de patentes), Conacyt (para financiamientos y realización de proyectos), Conagua (para la obtención de certificados de los pozos de agua), Nacional Financiera (Nafin) (financiamiento), Facultad de Agronomía del

DIAGRAMA 4
Flujos de información y vinculación de la planta



Descripción		Flujo residual
Materias primas	→	
Productos	→	
Intercambio interno del proceso	→	
Energía	→	→
Agua	→	→
Residuos	→	→
Propuestas/alternativas de nuevas sinergias	→	

Fuente: elaboración propia.

Estado de México (le proveen de lodos residuales, mismo que ocupan como abono en sus viveros), así como el Centro de Investigación (pentágono), Centro de investigación para desarrollo de productos de Grupo Bimbo en el cual intervienen fondos proporcionados por la empresa y por el gobierno, asociaciones industriales como SEBAT (flujo de información diversa), y civiles

como APAC, Reforestemos México, instituciones financieras (Bancomer, Banamex, etcétera).

Empresas con las que tiene relación: fabricantes de alimento para ganado, alimento para perros de la marca Clever, agricultores locales a los cuales venden lodos residuales, mismos que son utilizados como composta para abono de las tierras de cultivo.

Cabe señalar que a partir de lo analizado en la planta se propone un modelo alterno bajo algunos principios que plantea la EI, así como un análisis de la gestión ambiental vigente en la planta en comparación con el modelo alterno, con base en este análisis se pretende identificar si el modelo vigente se apega a las ideas planteadas por la EI o que aspectos retoma de este planteamiento. El modelo alterno fue retomado del Plan Nacional de Tecnología 2006, pero con modificaciones que toman en cuenta aspectos ambientales (sustentabilidad) tal como lo plantea los principios de la ecología industrial, el modelo está dirigido al corporativo, ya que desde ahí se toman las decisiones sobre las políticas, planes tecnológicos y ambientales que se implementaran en las diferentes plantas productivas en México. Este modelo es un sistema de diez funciones interrelacionadas, entre las cuales existe intercambio de información, recursos y tecnología. El objetivo de este modelo es la optimización de la utilización y gestión de los recursos tecnológicos y ambientales.

Descripción del modelo propuesto

El modelo que aquí se presenta es una propuesta alternativa para la gestión tecnológica y ambiental, desde una perspectiva enriquecida por lo planteado por la EI, la cual no sólo se enfoca a lo que sucede en el interior de la organización, sino que se interesa por lo que sucede al exterior de la misma (creación de redes e interrelaciones), que dan una postura de innovación abierta, lo cual tiene ventajas al tratar de estar a la vanguardia y abierto a la posibilidad de una nueva estrategia de innovación bajo la cual las empresas van más allá de los límites internos de su organización y donde la cooperación inter-firma tiene un papel fundamental. Ello significaría combinar el conocimiento interno con el conocimiento externo para sacar adelante los proyectos de I+D. Significa también que las empresas utilizan tanto canales internos como externos para poner en el mercado sus

productos y tecnologías innovadoras. Bajo este contexto, universidades y centros de investigación podrían ofrecer nuevas perspectivas y soluciones a las firmas que utilizan este modelo.

Sin embargo, bajo el modelo de innovación abierta, los proyectos pueden originarse tanto dentro como fuera de la empresa, pueden incorporarse tanto al principio como en fases intermedias del proceso de innovación, y pueden alcanzar el mercado a través de la misma compañía o a través de otras empresas (licencia de patentes, transferencia de tecnología, etcétera).

Este modelo de gestión pretende que aunado al modelo de gestión organizacional vigente en el grupo, se puedan complementar y enriquecer mediante la integración del proceso de cambio tecnológico con los aspectos estratégicos y operativos del control y la toma de decisiones de la empresa, y responde a la garantía de la sostenibilidad sobre la base de herramientas, métodos y modelos que además pueden contribuir a reflexionar sobre el modelo ambiental vigente.

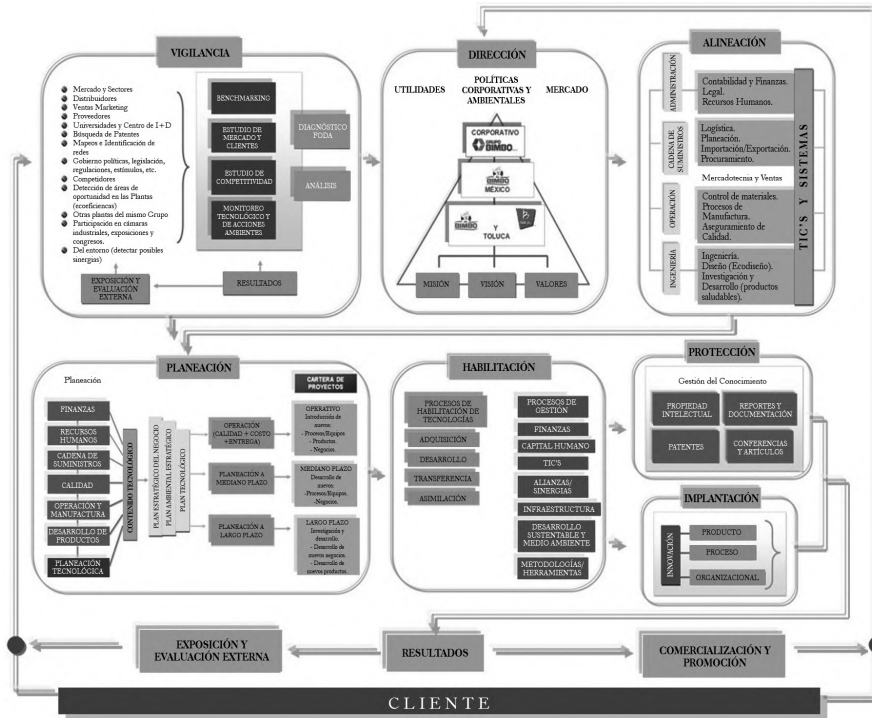
Las acciones del modelo que a continuación se muestra parten de vigilar e inventariar, éstas consisten en estar alerta sobre la evolución del entorno, conocer lo que utiliza y domina la firma, sistematizar las fuentes de información e indagar en las acciones que realizan los competidores, la dirección estudia las posibles estrategias a seguir (tecnológicas, de negocios, ambientales), en la planeación se diseñan estrategias y se definen proyectos y plazos, en la habilitación, se asimila y se actúa en la explotación del potencial de esos proyectos, los cuales pueden generar innovaciones en producto, en proceso o incluso organizacionales, finalmente se tiene que proteger el conocimiento generado mediante una política de propiedad intelectual, la cual puede incluir patentes, derechos de autor, marcas y diseños industriales.

Para su mejor comprensión se explicará el modelo por funciones y procesos por separado para verlo con mayor detalle.

Vigilancia. Con el fin de mantener el liderazgo en el mercado, existe una necesidad importante de responder rápida y efectivamente ante cambios en el mercado, aspectos tecnológicos y ambientales, por lo cual la primera función del modelo es la vigilancia, en donde los objetivos que se plantean son la identificación a tiempo de áreas de oportunidad y el reconocimiento oportuno de amenazas. En esta función se monitorea continuamente tanto la satisfacción y necesidades del cliente, como la información recibida a través de diversos elementos que se encuentran dentro

DIAGRAMA 5

Modelo de innovación en gestión tecnológica y ambiental

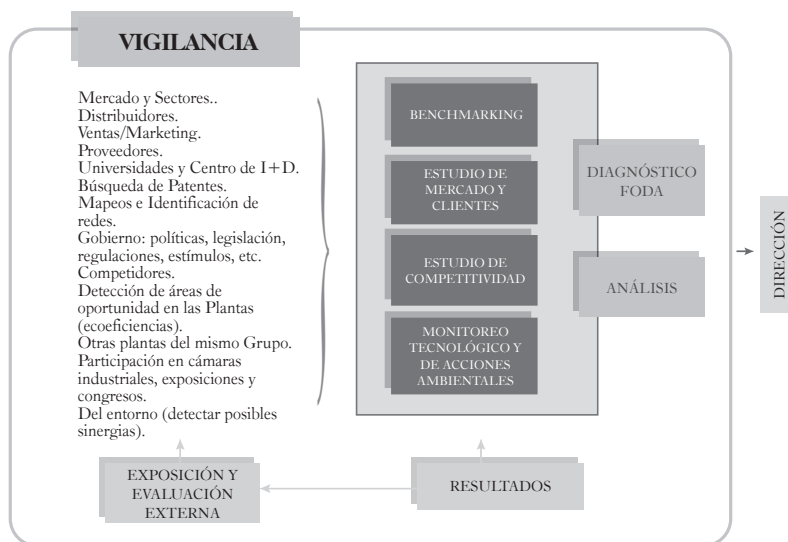


Fuente: elaboración propia, con base en información del PNT, 2006.

y fuera de la organización. El estudio de la situación del mercado, tendencias tecnológicas, prácticas ambientales, posición de los competidores, políticas de gobierno, reglamentaciones y estímulos de investigación, desempeño de proveedores, actividades de otras plantas pertenecientes al grupo, resultado de la gestión del modelo y su impacto a la organización y su entorno, estos son elementos que se considera indispensable analizar para poder llevar a cabo los cuatro procesos principales de gestión que permiten definir la localización de la organización en el mapa de competencia. Dichos procesos son: *benchmarking*, estudios de mercado y clientes, estudios de competitividad y monitoreo tecnológicos (Diagrama 6).

1. *Benchmarking*. Este proceso se tendría que llevar a cabo periódicamente mediante la realización de evaluaciones externas y estudios comparativos de la competencia, los cuales pueden ser análisis comparativo de productos y prácticas ambientales, participación y monitoreo de la posición y evaluación con respecto a la competencia, conocer la tendencia de otras compañías y proveedores, estudios comparativos entre proveedores.
2. *Estudio estratégico de mercado y clientes*. Este proceso busca definir las características particulares de los segmentos de mercado objetivo, así como detectar las necesidades y cambios de expectativas del cliente de manera continua. Este proceso se considera una parte esencial en la conceptualización de los nuevos productos, ya que con esta información se pueden plantear las características básicas del tipo y nivel tecnológico que se utilizará en su desarrollo, la importancia del proceso continúa el transcurso de la vida del producto.
3. *Estudio estratégico de competitividad*. Este proceso se tendría que llevar a cabo mediante el análisis comparativo de diferentes indicadores entre las distintas plantas del corporativo, lo cual permitiría evaluar su posición con respecto a la generación de valor de las distintas actividades evaluadas, estos indicadores serían publicados mensualmente, se realizarían juntas y presentaciones de actividades de las distas áreas, con la finalidad de compartir experiencias para su adopción y estandarizar las mejores prácticas.
4. *Monitoreo tecnológico*. El proceso de monitoreo busca crear una red eficiente de información para saber lo que ocurre con sus productos y las prácticas ambientales con respecto a cambios tecnológicos y su aceptación. Está directamente relacionado con el proceso de gestión de alianzas y sinergias de la función de habilitación ya que en este proceso se incluyen: análisis de predicción de tecnologías junto con el corporativo y proveedores especiales, revisión de proyectos de investigación y desarrollo con universidades y centros de investigación, participación en exposiciones y ferias industriales, el constante estudio y actualización de nuevas políticas gubernamentales y estándares internacionales, revisión de información de desarrollos tecnológicos, nuevos sistemas y servicios.

DIAGRAMA 6
Modelo de vigilancia



Fuente: elaboración propia, con base en información del PNT, 2006.

Dirección y alineación de la gestión tecnológica con otras áreas

La dirección permite primero alinear al grupo ejecutivo de la firma con los niveles corporativos de la organización con base en los principios, misión, visión, y valores. Esta función inicia con la utilización de información, como las utilidades generadas, el comportamiento del mercado y sus cambios, así como las políticas corporativas vigentes las cuales le permiten al grupo generar los lineamientos globales de la organización.

Una vez que el ejecutivo comunica a las distintas áreas los lineamientos determinados en la definición de metas y prioridades establecidas en la función de dirección, cada grupo tiene la responsabilidad de incorporarlas y traducirlas en objetivos e indicadores que serán integrados en la siguiente función dentro del plan específico de cada grupo y en conjunto formando el plan estratégico de negocio.

Esta función incluye la definición de responsabilidades y posición que ocupa cada grupo dentro de la estructura organizacional y su articulación con las otras áreas de la organización para su operación.

Planeación de tecnologías

Una planeación de las actividades y proyectos de los distintos departamentos, todos complementados con una planeación tecnológica específica, dan como resultado el plan estratégico del negocio, el cual contiene el plan estratégico ambiental y el plan tecnológico integral, los cuales determinarán la planeación y lineamientos de la organización descritos en tres etapas:

1. Planeación a corto plazo.
2. Planeación a mediano plazo.
3. Planeación a largo plazo.

La cartera de proyectos se da a partir de la integración del plan estratégico y de la definición de objetivos en las tres dimensiones de planeación, se define la cartera de proyectos para cada etapa, incluyendo su alcance, actividades, recursos y tiempos de acuerdo con el plan de negocios definido. El desarrollo de los proyectos se encuentra directamente relacionado con la función de habilitación y cada uno de sus procesos de gestión.

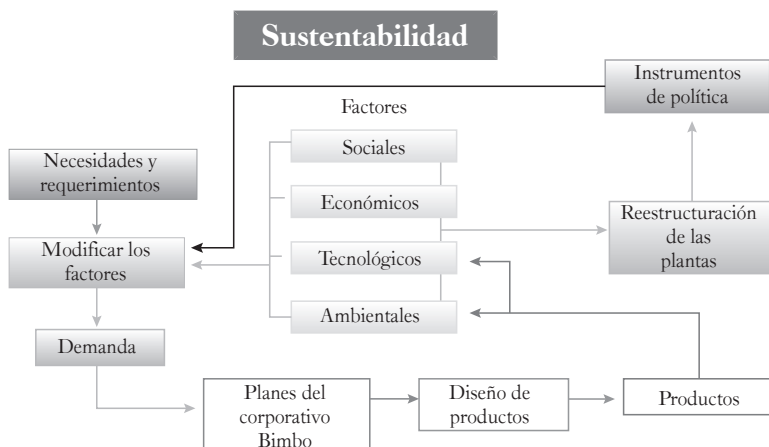
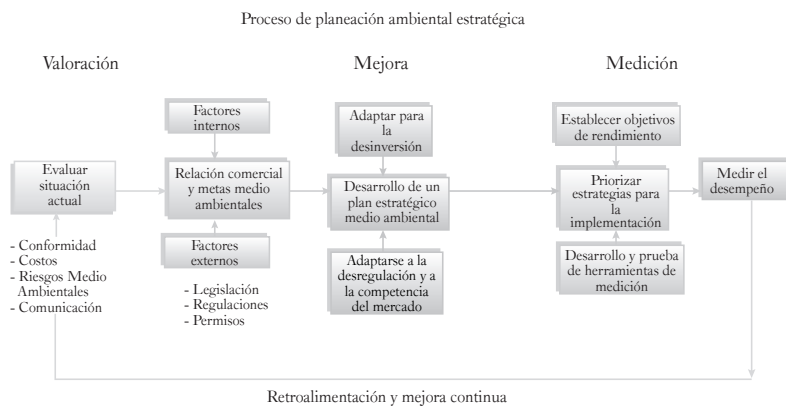
Plan ambiental estratégico

Una parte importante de la gestión ambiental es el de las auditorías y revisión ambiental, el éxito de una organización respecto a su desempeño ambiental, depende del cumplimiento de las tareas de gestión ambiental (valoración, mejora, medición, retroalimentación y mejora continua) preferentemente dentro del marco de la EI (ecoeficiencias, eco desarrollos, sinergias, etcétera). Poniendo atención a los factores sociales, económicos tecnológicos y ambientales, la organización mostrará atención a las preocupaciones crecientes de la sociedad y de los consumidores sobre la protección al ambiente y el desarrollo sostenible.

Por otro lado, mediante la auditoría ambiental se pretende evaluar el grado y calidad del cumplimiento de las tareas de gestión y de desempeño ambiental.

La auditoría ambiental es una herramienta de la dirección que consiste en una evaluación sistemática y objetiva de cuán satisfactorio es el desempeño

DIAGRAMA 7
Proceso de planeación ambiental estratégica



Fuente: elaboración propia, con base en Schaltegger (2003).

ambiental de la organización, de su dirección, de sus sistemas y productos con miras a salvaguardar al ambiente.

La auditoría ambiental involucra una auditoría técnica que analiza el desempeño ambiental y todo lo relativo a los aspectos ambientales de la organización y una Auditoría del Sistema de Gestión Ambiental (ASGA), que evalúa si esta gestión existe y si es adecuada para asegurar que el desempeño de la organización satisfaga las preocupaciones ambientales de las partes interesadas.

Esta evaluación facilita el control gerencial de las prácticas ambientales, permite a una organización estar informada sobre su desempeño ambiental y sobre la forma en que atiende los aspectos ambientales y revela si está aplicando o no un enfoque planeado, eficiente y eficaz de la gestión ambiental o de reparar los daños ambientales producidos como consecuencia de su actividad y/o productos.

Por otro lado, un aspecto importante de lo planteado en este modelo es lo concerniente a la simbiosis industrial, es decir, el intercambio de materiales entre varios sistemas productivos de manera que el residuo de uno es materia prima para otros y su implantación propicia la generación de una red de empresas dentro del mismo corredor industrial de Lerma. El objetivo inicial de esta simbiosis industrial sería económico, pero podría traer consecuencias ambientales y sociales positivas.

Habilitación de tecnologías y recursos

Esta función consiste en la integración de los cuatro procesos de habilitación de tecnología y los siete procesos de gestión:

1. Proceso de habilitación
2. Adquisición
3. Desarrollo
4. Transferencia
5. Asimilación
6. Proceso de gestión

El proceso de gestión tiene como objetivo proveer de manera sistemática los diferentes recursos y herramientas para el desarrollo de la cartera de proyectos, cada uno de ellos se integra de manera estructurada a los diferentes departamentos de la organización. Este tipo de procesos son: gestión de capital humano, finanzas, infraestructura, metodologías (Haccp, mejora continua, calidad total, six sigma), alianzas y sinergias, gestión ambiental y desarrollo sustentable, en el cual la política corporativa de administración ambiental se debe caracterizar por la introducción de tecnologías amigables al ambiente tanto

en sus productos como en sus procesos de manufactura y desarrollo. Se deben proponer planes de trabajo consistentes en una serie de actividades, objetivos y reglamentaciones dentro de la corporación para controlar y mejorar los siguientes puntos: 1) sustentabilidad, 2) reducción del calentamiento global, 3) reducción y uso eficiente de los recursos naturales, 4) manejo adecuado de residuos y sustancias, 5) protección y conservación del medio ambiente.

Protección del patrimonio tecnológico de la organización

Esta función tiene como propósito resguardar el conocimiento generado dentro de la organización, para lo cual es importante promover las siguientes prácticas de protección intelectual y gestión del conocimiento:

1. Generación de reportes y documentación de proyectos.
2. Generación de bases de datos.
3. Propiedad intelectual y generación de patentes.
4. Participación en congresos y foros académicos e industriales.

Las diferentes funciones y procesos de gestión del modelo han sido explicadas por separado para una mejor comprensión de éste en su conjunto y cómo es que cada una de las partes de este modelo funcionan y se interrelacionan entre sí.

Finalmente podemos concluir que una propuesta en este sentido permitiría o facilitaría la construcción de las redes y la medición de los beneficios que se han de generar a partir de la identificación de oportunidades en sinergias, ecoeficiencias, eco innovaciones, esto principalmente en la etapa de vigilancia en donde los objetivos que se plantean son la identificación a tiempo de áreas de oportunidad y el reconocimiento oportuno de amenazas.

En esta función se monitorea continuamente tanto la satisfacción y necesidades del cliente, como la información recibida a través de diversos elementos que se encuentran dentro y fuera de la organización (redes). El estudio de la situación del mercado, tendencias tecnológicas, prácticas ambientales, posición de los competidores, políticas de gobierno, reglamentaciones y estímulos de investigación, desempeño de proveedores, actividades de otras plantas pertenecientes al grupo, resultado de la gestión del modelo y su impacto a la

organización y su entorno (aspectos económicos, sociales y ambientales, aristas planteadas por la ecología industrial).

Cabe mencionar que todas las etapas están sometidas a una exposición y evaluación externa, y a partir de los resultados hay una retroalimentación, ya que el objetivo y las características del modelo son: la optimización de la utilización y gestión de los recursos tecnológicos y ambientales sin dejar de lado aspectos sociales, los cuales a su vez tendrían repercusiones económicas positivas en la empresa, relacionar la variable tecnológica (desde su vigilancia, obtención, manejo, protección, flujo de información, etcétera) pero sin perder de vista la variable ambiental con fines sostenibles, la cual desempeña un papel fundamental para la toma de decisiones, un compromiso de la dirección, involucramiento del personal para alcanzar los objetivos y metas ambientales requeridas así como de la identificación de redes e interrelaciones (gobierno, comunidad, ONG, empresas, universidades y centros de investigación) y gestión de innovaciones para la competitividad del grupo (innovaciones en procesos, organizacionales, eco innovaciones, eco eficiencias, así como la identificación de posibles sinergias).

Comparativo con la planta

En el Grupo reducen la generación de residuos e incentivan su reciclado con lo que contribuye a mejorar la competitividad y a promover una imagen verde de la organización, ya que tratarlos y/o disponerlos será cada vez más caro y difícil. Las organizaciones deben adoptar una actitud proactiva con respecto a la protección del ambiente, considerándolo cada vez menos como un problema y cada vez más como un patrimonio, razón por la cual el modelo con que cuenta actualmente el Grupo se deriva de las políticas corporativas, ya que su objetivo consiste en la estandarización de formas de producir aumentando la calidad del producto y como consecuencia la competitividad del mismo, ante la demanda de productos cuyos componentes y procesos de elaboración sean realizados en un contexto donde se respete al ambiente, además de establecer herramientas y sistemas enfocados a los procesos de producción al interior de las plantas, y de los efectos o externalidades que de estos deriven al ambiente, enfocado a la búsqueda de acciones ambientales internas (ecoeficiencias, implementación de energías limpias, tratar de cerrar ciclos como lo es descarga cero de agua), las

cuales si bien cumplen con estándares nacionales e internacionales de emisiones, descargas y manejo de residuos, dejando de lado la cooperación inter-firmas, el grupo analiza estos aspectos y los ve como requisitos para poder competir dentro del mercado del sector alimentos, realizando acciones a largo plazo que fomentan la postura del Grupo.

El modelo de gestión actual, aunque no se define como de ecología industrial, llega a realizar acciones que podrían acercarse a aspectos de la EI, como las ecoeficiencias, el cierre de ciclos y el uso de energías limpias.

Sin embargo, un modo de encarar esa actitud proactiva respecto al ambiente lo podría constituir la adopción de un sistema de gestión ambiental integrado bajo la perspectiva de la ecología industrial.

A diferencia del modelo actual del Grupo, la ecología industrial podría verse como una alternativa bajo la cual, “los sistemas de producción lineal se convierten en cíclicos imitando el comportamiento de los ecosistemas naturales y promoviendo el cierre de ciclo de materia, con el objetivo de garantizar el desarrollo sustentable a cualquier nivel, relacionando e impulsando las interacciones entre los sectores económico, ambiental y social, además de ser la puerta hacia una nueva forma de pensar y actuar que conduce hasta la meta del desarrollo sustentable desde las acciones que se realizan en la industria” (Ehrenfeld, 1997).

La organización deberá tener presente que esta metodología de gestión dependerá de los logros ambientales y que éstos son el fruto del compromiso ambiental y público de la dirección, del correspondiente involucramiento del personal para alcanzar los objetivos y metas ambientales requeridas, así como de la identificación de redes e interrelaciones (gobierno, comunidad, ONG, empresas, universidades y centros de investigación).

El modelo propuesto que incorpora aspectos de la EI tiene una visión más amplia, proactiva, con visión a futuro, visto como un sistema abierto, interdisciplinario, trata de cerrar ciclos, cuenta con sus propias herramientas, trata aspectos que podrían favorecer la innovación, la cooperación y la búsqueda de soluciones conjuntas que podrían desencadenar una posible co-evolución de los actores industriales y que a su vez éstos traten de recuperar la idea del desarrollo sustentable desde las acciones que se generan en este sector, lo cual no quiere decir que no se puedan retomar aspectos del modelo que actualmente manejan, y que al enriquecerse con el modelo planteado y con lo que propone

la EI, podría traer mayores beneficios económicos a la firma y ambientales a la sociedad en general.

Conclusiones

A partir de lo anterior podemos concluir que en este estudio de caso, el papel de la gestión tecnológica dentro del enfoque de la EI, como parte integral de los aspectos estratégicos y operativos del control y la toma de decisiones de la empresa y su relación con el medio ambiente, la innovación tecnológica es tomada como una herramienta competitiva y, como tal, debe constituir un punto esencial del planteamiento estratégico a largo plazo (aspecto planteado en el modelo propuesto para el corporativo).

La gestión ambiental basada en los principios de la EI, que priorizan el uso eficiente del agua y el manejo integral de residuos sólidos, representan para las plantas la posibilidad de contribuir a la mejora del medio ambiente, internalizar el costo social e incrementar su beneficio económico al mejorar sus ingresos a través del incremento en la eficiencia del uso de sus recursos, tecnologías y del aprovechamiento e intercambio de residuos y subproductos como materias primas (por ejemplo en el caso de los lodos residuales), e identificar oportunidades (eco eficiencias, eco innovaciones y/o sinergias) para fomentar condiciones de producción más ventajosas.

La importancia de los resultados que arroja la implementación de la EI, radica en que este enfoque ha logrado transformar los sistemas de producción lineales de diversas regiones en sistemas de ciclo cerrado donde todos los sectores que conforman a la región se ven favorecidos, tendencia a la cual se vislumbra que el Grupo podría caminar, ya que se observa que en la actualidad están tratando de cerrar ciclos de sus sistemas productivos (detección de ecoeficiencias dentro de las plantas).

Lo conveniente sería que el Grupo trate de disminuir la cantidad de residuos sólidos que generan, desarrollando estrategias de recuperación e intercambio a partir de la identificación de posibles sinergias, así como de procesos y agentes que intervengan dentro de la zona industrial, ya que también promueve la creación de redes que fomentan el desarrollo científico al vincular al sector académico con el sector industrial, como es el caso de la vinculación del Grupo

con universidades, centros de investigación y gobierno. Esta vinculación conduce a la búsqueda de nuevas tecnologías que solucionen las deficiencias en el manejo de recursos dentro de los sistemas de producción.

Por otra parte, se observó que en la planta hay una dinámica de innovación permanente, enfocada en la búsqueda de eco-eficiencias, acompañado de un constante intercambio de conocimiento entre las plantas del Grupo, sin embargo todavía no se han logrado implementar en todas las plantas dichas eco-eficiencias.

Los elementos teóricos que se identificaron a través de la experiencia de Toluca y que dieron soporte a la misma, fueron que la planta opera como un sistema abierto sujeto a la entrada de energía, del mismo modo opera un flujo de materiales que en la dinámica actual esta planta empieza a recuperar y reciclar en la medida de las posibilidades vigentes: costos, regulaciones, convicción, organización, aspectos técnicos, etcétera. El grupo cuenta con una filosofía ambiental, sin embargo, la zona en la que se ubica la planta imprime rasgos particulares que limitan la posibilidad de sinergias, ello se asocia a aspectos como:

1. Aunque hay cercanía física entre las empresas no hay relación entre éstas, lo cual impide la ejecución de algunas sinergias.
2. La complementariedad de los procesos y de los materiales, dada la heterogeneidad de las empresas, la teoría alude a la necesidad de la diversificación para identificar mayores oportunidades.
3. Las regulaciones y leyes que permitan el intercambio y hagan viable el proyecto. Hay límites que impone la ley para el reciclaje y traslado de residuos peligrosos, y para la generación y transferencia de flujos de energía.
4. Los criterios económicos que afecten los intereses de la empresa y pongan en riesgo su rentabilidad. En este caso esto no representó una barrera demasiado fuerte en el sentido de imponer un gran riesgo a las empresas, pero lo fue en el sentido de no dar lugar a incentivos económicos poderosos, ya que los resultados de este tipo de iniciativas sólo repercuten financieramente de forma positiva en el largo plazo.
5. Una conciencia ambiental por parte de los tomadores de decisiones y del consumidor; este caso tiene una particularidad, en lo que se refiere a los tomadores de decisiones se percibieron barreras débiles porque aunque las empresas se rigen por políticas ambientales internas, en general se toman en

cuenta al decidir las estrategias de la empresa (aspectos económicos); por el lado del consumidor la barrera es fuerte, debido a que se trata de productos alimenticios que van dirigidos a consumidores finales, por tanto se manifiesta un consumidor consciente con demandas a favor del ambiente y que presione para que se adopten proyectos limpios.

Se identificaron ciertas características de la planta que podrían favorecer el desarrollo de este tipo de proyectos, como lo es el tamaño del Grupo, ya que son principalmente las grandes y excepcionalmente las medianas empresas las que tienen posibilidades financieras para realizar inversiones con recuperación de largo plazo.

Se identificó también, que el papel del corporativo ha sido clave en las decisiones de las plantas para incurrir en acciones que modifiquen sus conductas y procesos a favor del ambiente. Tras esta línea dictada por las trasnacionales está el interés de generarse una imagen de empresa limpia que les abra nuevas oportunidades en el mercado y como requisitos para competir en un mercado internacional.

El grupo logró generar una dinámica de trabajo permanente orientada a la búsqueda de oportunidades de ahorro con efectos positivos en el ambiente, que se expresó en la proliferación de eco-eficiencias en las plantas del grupo.

La planta analizada ha jugado el papel de líderes en las iniciativas ambientales dentro del Grupo, muestran un importante avance en sus acciones ambientales internas, expresada en ambos casos en la adopción de programas de calidad ambiental, seguridad industrial e higiene. Esto ha representado la base del desempeño ambiental favorable y ha facilitado continuar en la búsqueda de eco-eficiencias y sinergias que en primera instancia se dan dentro de las plantas y en segunda tratan de vincularse a otras empresas.

El proyecto de reciclado de agua y el manejo integral de residuos sólidos representan una experiencia exitosa de ecoeficiencias que se ha traducido paralelamente en un ahorro económico y en una reducción importante de las emisiones al ambiente, lo que podría ser una oportunidad de potenciar su línea de negocios, por tanto puede reconocerse como una práctica, aunque limitada, de ecología industrial, ya que faltaría desarrollar la proliferación de redes y sinergias entorno a los subproductos que se generan de sus procesos productivos con otras empresas en su entorno y tratar de cerrar ciclos, ya que la planta analizada

se encuentran en un flujo de materiales cuasi cíclico (transición de ecosistema tipo 1 al ecosistema tipo 2).

Se denotan mayores acciones de carácter ambiental internas a las plantas que generadas en redes. El Grupo no adopta los principios de la EI dentro de su sistema de gestión, sin embargo incorpora el componente ambiental (ISO 14000 e Industria Limpia) desde el 2002.

Por su parte, la dimensión ambiental asume cada vez más importancia y es un criterio determinante de la sobrevivencia y competitividad de las organizaciones a nivel mundial, por lo cual el Grupo ha incluido el aspecto ambiental dentro de su visión corporativa vislumbrada a largo plazo.

Se podría decir que un modo de encarar esa actitud proactiva respecto al ambiente lo podría constituir la adopción de un sistema de gestión de la función ambiental integrado a una gestión global de la organización ejecutada bajo la perspectiva de la ecología industrial, para lo cual la organización deberá tener presente que su éxito dependerá de los logros ambientales y que éstos son el fruto del compromiso ambiental de la dirección y del correspondiente involucramiento del personal para alcanzar los objetivos y metas ambientales requeridas.

Lograr procesos productivos que sean sostenibles a largo plazo, implicará, no sólo la promoción de beneficios al medio ambiente sino la integración y desarrollo de los sistemas económico y social al mismo tiempo.

Dentro del análisis se identificaron las siguientes áreas de oportunidad:

1. La grasa vegetal que se genera del proceso y del tratamiento del agua, podría emplearse en la fabricación de jabones o en la elaboración de biodiésel (área de oportunidad).
2. El aceite de carro podría utilizarse en el acabado de muebles o madera para la construcción y la fabricación de asfalto (área de oportunidad).
3. El agua de lluvia, ya que la planta no tiene la capacidad de utilizar toda el agua que recolecta podría intercambiar parte de esta agua a dos empresas de la industria textil que están junto a la planta (área de oportunidad y posible sinergia).
4. Los lodos residuales que se generan del proceso y del tratamiento del agua, podrían emplearse en la fabricación de cartón, láminas, cerámica, corcho, ladrillos, recuperación de carbonato cálcico o como abono (área de oportunidad y detección de posible sinergia con fábricas locales y agricultores locales).

5. Por otra parte, no se lograron identificar alternativas para hacer más rentable los sobrantes de la barredura de pan, con la cual se realiza actualmente alimento para ganado y perro.

Las sinergias dentro del corredor industrial podrían abrir la posibilidad de implementar nuevas y mejores tecnologías de producción, nuevos productos o productos mejorados y acciones ambientales más eficientes, por ende propiciar una derrama de mejoras continuas e innovaciones entre las diferentes empresas que pertenecen al corredor industrial.

Finalmente podemos decir que mediante la perspectiva de la EI la planta analizada podría tener la oportunidad de mejorar sus ingresos a través de una mayor eficiencia del uso de sus recursos y tecnologías, ya que reducir la generación de residuos e incentivar su reciclado, contribuye a mejorar la competitividad y a promover una imagen verde de la organización, mientras que tratarlos y/o disponerlos será cada vez más caro y difícil.

Bibliografía

- Alvarado, Raúl (2009), *Cooperación entre firmas y ecología industrial un estudio de caso: Industria Mexicana de Reciclaje*, México, UAM-Xochimilco.
- Arrow *et al.* (1995), "Economic growth carrying capacity and the environment", *Ecological Economics Review*, vol. 15, issue 2, noviembre.
- Ayres, Robert (1989), *Industrial Metabolism in Technology and Environment*, J.H. Ausubel and Sladovich (eds.), Washington DC, National Academy Press.
- (1989), "Industrial Metabolism: Technology and Environment".
- (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".
- (1997), "Opening Up Possibilities Around the World", mimeo.
- (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".
- y Ayres, L. (2002), *A Handbook of Industrial Ecology*, Reino Unido, MPG books.

- (1996), *Industrial ecology: Closing the materials cycle* Cheltenham, Reino Unido y Lima, Edward Elgar.
- (2002), “Kalundborg”, *Handbook of Industrial Ecology*, Cheltenham, Edward Elgar.
- Ayres, R. y Simonis U. (1994), *Industrial Metabolism: Restructuring for sustainable development*, Tokio, United Nations University Press.
- (1994), *Industrial Metabolism: Restructuring for sustainable development*, Tokio, United Nations University Press.
- Insead. The Center of the Management of Environmental Resource. Working paper. 2002/119/EPS/CMER.
- Carrillo, G. (2001), “Economía ecológica y ecología industrial” en Morales J, y Rodríguez L. (comps.), *Economía para la protección ambiental. Ensayos teóricos y empíricos*, México, UAM-Azcapotzalco.
- (2005), “Ecología industrial y sustentabilidad: el Proyecto Sinergia de Subproductos en Altamira-Tampico”, Barcelona.
- (2009), *Consideraciones del medio ambiente en el desarrollo económico*, México (en prensa).
- (2004), “Ecología industrial y criterios de interacción”, en Fernández y Saleme (comps.), *Dimensión social y humana del crecimiento económico*, México, UAM-Xochimilco.
- Castells, Xavier (2000), *Reciclaje de residuos industriales*, Madrid, Ediciones Díaz de Santos.
- Cervantes Torre-Marín, G. Sosa Granados, R. Rodríguez Herrera, G. y Robles Martínez, F. (2009), *Ecología industrial y sustentabilidad*, México.
- Chertow, Marian R. (2005), *Industrial symbiosis*, United States.
- Claver Cortez, Enrique y Molina Asorín José (2005), *Gestión de la calidad y gestión medio ambiental*, Madrid, Pirámide.
- Conesa Fernández, Vítora Vicente (1997) *Los instrumentos de la gestión ambiental en la empresa*, Madrid, Mundi-Prensa.
- Dávila Poblete, Sonia (2006), *El poder del agua, ¿participación social o empresarial?*, México, Itaca.
- Díaz, Fernando (2003), *Innovación tecnológica y ambiente. La industria química en México*, México, UAM-Xochimilco.
- (2005), “Monografía de estudio de caso: innovación tecnológica y medio ambiente en el sector químico del grupo DESC”. Documento de trabajo. University of East Anglia- Norwich.
- Domínguez Villalobos, Lilia M. (2006), *México: empresa e innovación ambiental*, México, Porrúa.

- Durán Romero, Gemma (2007), *Empresa y medio ambiente*, Madrid, Pirámide.
- Ehrenfeld J. y Gertler N. (1997), “Industrial Ecology in Practice: The evolution of interdependence at Kalundborg”, *Journal of Industrial Ecology*, vol. 1
- Erkman, S. (2001), “Industrial Ecology: a new perspective on the future of the industrial system”, en *Assemblée annuelle de la Société Suisse de Pneumologie*, Ginebra, 30 de marzo.
- Frosch, Robert A. (1992), “Industrial Ecology: A Philosophical Introduction,” en *National Academy of Sciences*, 89, Estados Unidos, pp. 800-803.
- y Gallopoulos, N.E. (1992), “Towards an industrial ecology”, in A.D. Bradshaw, R. Southwood y F. Warner (eds.), *The Treatment and Handling of Wastes*, Londres, Chapman and Hall for the Royal Society, pp. 269-292.
- Fussler, Claude (1999), *Eco-innovación, integrando el medio ambiente en la empresa del futuro*, España, ediciones Mundi Prensa.
- Gallopoulos, Nicholas E. (2006), “Industrial ecology: an overview”, en *Progress in Industrial Ecology – An International Journal*, vol. 3, núms. 1/2.
- García, Ferrando Manuel y Pardo Avellaneda Rafael (1995), *Las grandes empresas españolas y la política medio ambiental: actitudes y comportamientos*, Madrid.
- (1994), *Ecología, relaciones industriales y empresa*, Bilbao, Fundación BBV.
- Goodland, Robert (1995), “The concept of environmental sustainability”, *Annual Review of Ecological Systems*, núm. 26, Estados Unidos.
- Graedel y Allenby (1995), *Industrial Ecology*, Estados Unidos, Prentice Hall.
- Green Ken y Randles Sally (2006), *Industrial ecology and spaces of innovation*, Reino Unido, MPG books.
- Jacobo Villa, Marco A. y Saborio Fernández Elsa (2004), *La gestión del agua en México: los retos para el desarrollo sustentable*, México, Porrúa.
- Kronenberg, Jakub (2007), *Ecological Economics and Industrial Ecology*, Reino Unido, Routledge Taylor and Francis Group, University of Stirling.
- Bastida Muñoz, Mindahi Crescencio (2009), “Crisis del agua en el Valle de Toluca. Repercusiones socioambientales por el trasvase”, México.
- Martínez, Allier (1996), “La economía ecológica como ecología humana”, documento presentado en el III Foro del Ajusco sobre Economía Ecológica, México, Colmex.
- (2003), “Ecología industrial y metabolismo socioeconómico: concepto y evolución histórica”, *Revista Economía Industrial*, núm. 352, España
- y Roca J. (2000), *Economía ecológica y política ambiental*, México, FCE/PNUMA.
- Medows, D. (1977), *Limits to Growth: A Report for the Club of Rome’s Project on the Predicament of Mankind*, New American Library.

- Montero Contreras, Delia y Gómez Reyes Eugenio (2009), *Innovación tecnológica, cultura y gestión del agua: nuevos retos del agua en el Valle de México*, México, Porrúa.
- Naredo, J.M. (2001), “Economía y sostenibilidad: la economía ecológica en perspectiva”, *Polis*, Revista Académica On-Line de la Universidad Bolivariana, vol. 1, núm. 1.
- y Parra F. (1993), *Hacia una ciencia de los recursos naturales*, Madrid, Siglo XXI Editores.
- Naredo, J.M. y Carpintero, O. (2003), “Ecología industrial”, *Revista Economía Industrial*, núm.352, España.
- Restrepo Gallego, Mauricio (2006), *Producción más limpia en la industria alimentaria*, Universidad Nacional de Colombia.
- Schaltegger, S., R. Burritt y H. Petersen (2003), *An introduction to corporate environmental management-Striving for sustainability*, Sheffield, Reino Unido, Greenleaf.
- Semarnat (2009), “El medio ambiente en México 2009: en resumen”, México.
- , “La gestión ambiental en México”, México.
- Socolow, R. (1994), *Industrial Ecology and Global Change*, Reino Unido, Cambridge University.
- Yin, R.K. (1994), *Case study research: design and methods*, Newbury Park.

Páginas en internet

- [<http://www.mexicodesconocido.com.mx/notas/3849-El-Estado-deM%C3%A9xico,-una-potencia-industrial>].
- [http://www.zumer.com/company_indicator_details/list?indicator_id=1&company_id=199&category=1], fecha de consulta: 23 de marzo de 2010.
- [<http://www.mideplan.go.cr/sinades/PUBLICACIONES/sector-productivo/.htm>], fecha de consulta: 31 de marzo de 2010.
- [<http://www.unizar.es/fnca/index3.php>], fecha de consulta: 31 de marzo de 2010.
- [<http://www.europe-innova.eu/web/guest>], fecha de consulta: 3 de diciembre de 2009.
- [<http://es.wikipedia.org/wiki/Wikipedia:Portada>].
- [http://www.agua.org.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=1141:-la-nueva-cultura-del-agua-una-vision-para-mexico&catid=135&Itemid=112], fecha de consulta: 8 de marzo de 2010.
- [<http://www.pronaca.com/site/principal.jsp?arb=133>], fecha de consulta: 14 de noviembre.

- [<http://www.tetrapak.cl/docs/medioambiente/politica.ambiental.corporativa.pdf>], fecha de consulta: 14 de noviembre.
- [http://www.ingeo Minas.gov.co/index2.php?option=com_docman&task=doc_view&gid=723&Itemid=1], fecha de consulta: 14 de noviembre.
- [www.gruposiro.com], fecha de consulta: 15 de diciembre de 2009.
- [<http://www.semarnat.gob.mx/Pages/inicio.aspx>].
- [<http://www.cna.gob.mx/>].
- [<http://www.grupobimbo.com.mx/index.php?hour=12&min=20>].
- [<http://www.industria.gov.ar/uma2/?p=42>], fecha de consulta: 17 de mayo de 2010.
- [www.portalsostenibilidad.upc.edu CERVANTES Gemma. “Ecología Industrial”], fecha de consulta: 20 de julio de 2009.
- [http://www.science.oas.org/oea_gtz/libros/Ambiental/ambiental.htm], “El manual gestión de la calidad ambiental”, fecha de consulta: 23 de junio de 2010.
- [http://www.pnuma.org/forumofministers/14-panama/pan11nfe_IndicadoresAmbientales.pdf], fecha de consulta: 23 de agosto de 2010.
- [<http://www.masr.com.mx/responsabilidad-social-definicion-y-clasificacion/>], fecha de consulta: 15 de octubre de 2010.
- [http://www.cnpm.org/html/que_es_pml.asp], fecha de consulta: 15 de octubre de 2010.
- [<http://www.fao.org/DOCREP/005/y1579s/y1579s03.htm>], fecha de consulta: 15 de octubre de 2010.

CAPÍTULO X
Cooperación empresarial y ecología industrial:
el reciclado del PET

Raúl Arturo Alvarado López

El proceso de crecimiento económico, del cual el desarrollo industrial ha tenido un papel importante, ha representado una mejora en el bienestar de la sociedad (al garantizar una gran cantidad de bienes de consumo y duraderos que satisfacen muchas de las necesidades humanas). Sin embargo, debido a que el crecimiento poblacional ha sido exponencial y con ello la demanda por bienes y servicios, el impacto negativo generado sobre los recursos naturales y el ambiente se han convertido en un grave problema para las actuales y futuras generaciones.

Lo anterior refuerza la idea de que el crecimiento basado en el desarrollo industrial está fuertemente ligado a la degradación de los recursos naturales, ya que históricamente la mayoría de los modelos industriales y de desarrollo económico no han considerado la importancia vital que el medio ambiente tiene, no sólo para la vida humana sino para todas las especies del planeta.

Dada la problemática, desde hace algunas décadas se han propuesto diversas alternativas para reducir los impactos negativos del crecimiento económico sobre la naturaleza, bajo esta línea surge el enfoque de la ecología industrial, el cual promueve estrategias para reducir la presión del sector industrial sobre los sistemas naturales, mediante la reducción de las tasas de extracción de insumos con base en el aprovechamiento exhaustivo y eficiente de los subproductos que la industria genera y que generalmente se consideran como desechos, ello bajo un esquema que imita los procesos simbióticos naturales.¹

¹ Desde la biología, la simbiosis es un tipo de interacción entre dos o más organismos de distinta especie, donde a los organismos involucrados se les denomina simbioses. Aunque existen discrepancias sobre el término, por lo regular hace referencia a las relaciones de mutualismo (es decir, aquellas en que todos los simbioses salen beneficiados).

La ecología industrial propone ampliar la vida útil de los diversos materiales y energía, donde sea posible el reaprovechamiento de los residuos, lo que significa que los residuos de una firma puedan ser reintegrados como insumos dentro de su propio sistema productivo de manera continua o bien, como insumos de alguna otra firma.² De esta manera, la ecología industrial toma a los sistemas naturales como un modelo que permite minimizar el problema ambiental, lo que implicaría la creación de un nuevo paradigma para el sistema industrial.

El énfasis de la ecología industrial se centra en la necesidad de mejorar el conocimiento y las decisiones en las distintas industrias y empresas, dado que el modelo a seguir es el de la interacción entre especies, que se genera en los ciclos naturales, la propuesta se basa en la interacción entre empresas para que se desarrollen los procesos de intercambio y complementariedad, en este marco la cooperación empresarial es un requisito fundamental, donde el concepto de simbiosis industrial es un elemento clave.

Bajo los planteamientos anteriores, en el este capítulo se hace un análisis de qué es la ecología industrial y la importancia de la cooperación entre empresas para alcanzar sus objetivos, además de presentar el ejemplo de una aproximación a una simbiosis industrial a partir del caso del reciclado del PET³ y su posterior reincorporación al proceso de producción de envases dentro de la industria refresquera, proyecto cooperativo conformado mediante una *joint venture*.

Para lo anterior, el trabajo se divide en cinco apartados, inicia con una introducción, posteriormente se aborda el tema de la ecología industrial y sus enfoques, el siguiente apartado analiza el tema de la importancia de la cooperación inter-firmas desde el enfoque de los costos de transacción y cómo la cooperación puede ser utilizada como una estrategia ambiental para las empresas, el último apartado presenta la aproximación a una simbiosis industrial que surge en torno una planta recicladora del PET, y finalmente se dan algunas conclusiones.

² El principal problema que intenta atacar la ecología industrial, es que “casi todos los ecosistemas se basan en ciclos prácticamente cerrados de materiales, en tanto que las economías industriales tienen un funcionamiento básicamente lineal y abierto: extraer materiales, utilizarlos y dispararlos como residuos no utilizados” (Martínez-Alier y Roca, 2000:284), los cuales ejercen presión sobre el entorno, además de representar un desperdicio de recursos (materiales y energéticos).

³ PET (Polietileno tereftalato) es un material fuerte de peso ligero de poliéster claro. Se usa principalmente para hacer recipientes de diferentes bebidas y productos alimenticios.

Ecología industrial y sus enfoques

La ecología industrial ha sido objeto de un trabajo multidisciplinario, en el cual participan científicos de la física, química, ingeniería, así como expertos de las ciencias naturales y económicas, siendo el objetivo, la integración de los sistemas económico y social con el sistema ambiental. Para ello se proponen estrategias para reducir la presión del sector industrial sobre los sistemas naturales, mediante la reducción de las tasas de extracción de insumos a partir del aprovechamiento exhaustivo y eficiente de los subproductos que la industria genera y que generalmente se consideran como desechos.

Por lo tanto, se busca mejorar el conocimiento y las decisiones en las distintas industrias sobre el uso de materiales, reducción de los residuos, promoción al reciclaje, la explotación de energías renovables y tecnologías limpias con el fin de prevenir la contaminación y llegar a un balance entre las diferentes actividades de la sociedad con su entorno.

La ecología industrial es un enfoque teórico relativamente joven que aparece por primera vez en la década de 1970, pero en realidad su desarrollo y su arraigo comienza a tener mayor relevancia en la década de 1980, principalmente con Ayres, R. (1989).⁴ En su tesis doctoral, Carrillo (2005) identifica tres enfoques sobre los que se finca la construcción teórica de los pioneros de la ecología industrial. Dichos enfoques y los principales autores se presentan en el Cuadro 1, los cuales más allá de presentar diferencias, cuentan con elementos complementarios y que pueden ser derivados uno de otro. Por ejemplo, un elemento recurrente entre ellos es la importancia que tiene la cooperación y/o complementariedad entre empresas del mismo o diferente sector para alcanzar sus objetivos.

A continuación se describen las principales características de los enfoques antes mencionados y la importancia que dan a la cooperación empresarial.

⁴ En 1997 se publica la primera revista sobre el tema: *Journal of industrial ecology*; y en 2001 se crea la International Society of Industrial Ecology.

CUADRO 1
Enfoques y autores de la ecología industrial

Enfoque	Autores
Analogía a los sistemas naturales	Robert Frosch-Nicholas Gallopoulos TE Graedel, Braden Allenby y J. Ausbel
Proceso de desmaterialización	Stephen Bunker (análisis crítico) Hardin Tibbs / Escuela de Austria, Lowe y Schmidt-Bleek
Metabolismo industrial	Robert Ayres y Leslie Ayres Robert Ayres

Fuente: Carrillo (2005:46).

Analogía a los sistemas naturales

El enfoque de la ecología industrial que es analizado como una analogía de los procesos productivos con los sistemas naturales, enfatiza la importancia de estimular la evolución del sistema industrial de modo que imite las mejores características de los sistemas naturales.⁵

Para Frosch (1992), la analogía es posible, “sí en un sistema biológico existe una red de conexiones, como es el caso de muchas comunidades de organismos vivos donde su sobrevivencia está determinada por su capacidad de generar una red alimentaria (una interconexión de los microorganismos y sus residuos)”. Entonces, en el contexto de la industria se puede pensar la analogía como el uso óptimo de los productos y residuos, a partir de las similitudes existentes entre la estructura de un sistema natural y el sistema industrial o económico.

⁵ Considerando que dichos sistemas han evolucionado a lo largo de muchos millones de años, y que gran parte de ellos han pasado de un sistema lineal y abierto a uno cíclico y cerrado en el cual han alcanzado un equilibrio dinámico entre los diferentes organismos que lo conforman, equilibrios que se dan desde sus aspectos biológicos, físicos y químicos. En casi todo sistema natural, nada sale del sistema, porque los desechos son utilizados como sustratos para otros organismos. Dichos sistemas se caracterizan por un alto grado de integración e interrelación (Odum, 1979).

Graedel y Allenby (1995), aclaran que:

[...] la imitación de los sistemas industriales hacia los sistemas biológicos, es un factor necesario para frenar el deterioro ambiental que ejercen los sistemas productivos. Esto al considerar que la limitante que presentan algunos sistemas industriales, es que sus procesos no son sustentables en el largo plazo, porque generalmente todos los flujos se dan de manera lineal.⁶

Considerando que el proceso lineal no se retroalimenta y no permite cerrar los ciclos de los materiales y energía, generando grandes pérdidas de recursos materiales y energéticos.

Se busca que a partir de los conocimientos sobre el funcionamiento de los ecosistemas, se pueda reorganizar el sistema industrial de tal manera que evolucione hacia un modelo de funcionamiento que se aproxime a la compatibilidad con la biosfera y que sea soportable en el largo plazo. Esto mediante la optimización en el uso de los recursos, buscando cerrar los ciclos de la materia y energía,⁷ así como minimizar las emisiones y reducir la dependencia en relación con las fuentes de energías no renovables.

Este enfoque contempla como necesaria la transición de un sistema productivo complejo y centralizado a un mecanismo de control basado en la cooperación y en la retroalimentación entre diferentes empresas, donde éstas jueguen el papel de un organismo dentro del sistema. Lo anterior, según Graedel y Allenby (1995), implica que las políticas industriales deben orientarse hacia la sostenibilidad.

Lo que se impulsa es la generación de procesos sistémicos, que se retroalimenten de los diferentes residuos evitando que éstos representen un problema

⁶ El procesos lineal hace alusión a: la extracción de materiales o el cultivo, el procesamiento de materiales o manufacturación, el uso de éstas, y posteriormente la disipación y generación de residuos, por lo que este enfoque propone que a partir de la imitación de los sistemas biológicos, una vez generados los residuos, éstos puedan ser utilizados en el sistema productivo como una parte más de los insumos.

⁷ Cerrar los ciclos de los diferentes materiales y energía en la economía hace referencia a una economía cíclica, totalmente renovable y autorreproductiva, sin residuos, y cuya fuente de energía es inagotable en términos humanos: por ejemplo, la energía solar. En esta economía cíclica natural cada residuo de un proceso se convierte en la materia prima de otro.

para el medio ambiente. Ello implica que los desechos se conviertan en recursos del mismo o algún otro proceso productivo, con lo cual no se pretende de ninguna manera frenar el desarrollo industrial, sino rediseñar a éste para que sea compatible con el medio ambiente.

La importancia en la imitación de los sistemas naturales radica en su funcionamiento, ya que “la biosfera es un sistema de ecosistemas perfectamente ajustado, los cuales después de varios miles de millones de años de prueba, autorreparación, modificación, adaptación mutua (co-evolución), siguen trabajando de manera óptima a pesar de sus complejos mecanismos” (Odum, 1979). Lo anterior sugiere que para un óptimo desarrollo industrial se requiere de la continua adaptación y evolución de las empresas fundamentándose en la cooperación y/o complementariedad empresarial.

*Desmaterialización*⁸

Cleveland y Ruth (1999:15) retoman diferentes definiciones de diversos autores de lo que es la desmaterialización, lo que les permite definirla como “la absoluta o relativa reducción en el uso de materiales (y/o energía) y/o la reducción en la generación de residuos por unidad de producto en la economía”.

En el mismo sentido, Carrillo (2005), citando a Erkman (2001), considera que la desmaterialización debe ser analizada en dos dimensiones, la desmaterialización relativa y la absoluta. La primera hace referencia a la necesidad de hacer más con lo mismo, más productos con una cantidad de insumos dada. En tanto, la segunda hace referencia a hacer más con menos, reducir el flujo de materia circulante en términos absolutos.

⁸ Bajo este enfoque han surgido propuestas como las planteadas por Ulrich *et al.* (1997:13), los cuales a partir del concepto del “Factor 4”, plantean un modelo de desarrollo sostenido que abre nuevas perspectivas para un futuro viable. El objetivo es multiplicar por dos el bienestar y reducir a la mitad el deterioro de la naturaleza. Además, plantean que “sin duplicar globalmente el bienestar no podrían resolverse las actuales disparidades entre ricos y pobres [...] Y sin reducir al menos a la mitad el deterioro de la naturaleza no se podría restablecer el equilibrio ecológico ni asegurar a largo plazo los fundamentos para la supervivencia”.

De esta manera, el enfoque de la desmaterialización propone “redefinir los diferentes productos con base en el conocimiento de su ciclo de vida y sus impactos al ambiente, además de la responsabilidad entre los productores y los consumidores, esto implica el rediseño de productos y procesos productivos compatibles con el medio ambiente” (Braungart, 1997:10). La propuesta se centra en la necesidad de generar productos funcionalmente superiores y que requieran de un mayor capital intelectual (mayor valor agregado) y menores insumos materiales y/o energéticos.

El enfoque tiene una relación directa con la productividad, entendida ésta, como la relación entre la cantidad producida y la cantidad de insumos utilizados en tal producción. Así, “cuanto menor sea la cantidad de insumos utilizados en la producción de una unidad de producto, tanto mayor será la productividad, entendida también como la eficiencia en la producción” (Bunker, 1997).

Cleveland y Ruth (1999) plantean que dada la creciente preocupación por la demanda y en ocasiones la disminución en la oferta de materiales, junto con el creciente problema de los efectos causados por los desechos materiales (y/o energéticos) en la salud de los humanos y en los ecosistemas, la desmaterialización es un elemento que urge ser impulsado en toda la economía.

En este punto es necesario mencionar que para el presente enfoque resulta de suma importancia contemplar el papel del cambio tecnológico, ya que a partir de él, es posible generar innovaciones tanto radicales como incrementales que permitan la paulatina reducción y/o sustitución en el uso de materiales y energía, así como explorar energías alternativas (Bunker, 1997). El papel de la innovación no se limita sólo a los procesos y productos; además, es muy importante la innovación en la organización empresarial que incorpore proyectos de desmaterialización como una alternativa de anticiparse a los requerimientos del mercado (como puede ser el caso de la escasez de insumos).

Mediante la desmaterialización se busca favorecer al medio ambiente y a la vez mantener o aumentar la eficiencia en la producción, y al reducir la intensidad en el uso de los materiales abriendo la posibilidad de reducir el volumen de desechos generados, y mejorando la eficiencia en los procesos. La desmaterialización es por lo general un proceso de largo plazo, que tiene como fin reducir la generación de materiales tóxicos y peligrosos, así como la disminución en el uso de recursos no renovables y renovables. Pero para hacer posible esto según Lowe (1993) la industria tendría que funcionar como un circuito cerrado, en donde en cualquier

etapa los materiales y energía puedan ser reciclados, además de cumplir por lo menos tres objetivos principales:

- Todo recurso renovable no puede ser usado a un ritmo superior al de su generación.
- Los recursos no renovables no pueden ser utilizados a una mayor velocidad de la necesaria para sustituirlo por un recurso renovable utilizado de manera sostenible.
- Todo tipo de contaminantes no deberán producirse a un ritmo superior al que pueda ser reciclado, neutralizado o absorbido por el medio ambiente.

Este enfoque, al igual que en el de analogía a los sistemas biológicos, plantea la necesidad de reorganizar al sistema productivo con el fin de minimizar la cantidad total de recursos requeridos pero obteniendo resultados equivalentes. Para este enfoque, el papel de la cooperación empresarial es quizás menos importante, considerando que la desmaterialización se puede dar al interior de la empresa, quizás con un eficiente programa de gestión ambiental que impulse programas de investigación y desarrollo (I+D) que estimule a la vez la eficiencia productiva y el cuidado al medio ambiente. Por lo tanto, un elemento importante podría ser la generación de ecoeficiencias,⁹ pero las cuales en un contexto cooperativo entre empresas podrían tener un mayor impacto.

Metabolismo industrial

El concepto de *metabolismo*¹⁰ ha sido analizado desde diferentes áreas de estudio, tal es el caso de la biología, la ecología, la sociología, la política y la economía (Fischer-Kowalsk, 1998). Para Carrillo (2005), metabolismo en las ciencias

⁹ La ecoeficiencia busca promover un diseño integral de tecnología para reducir la intensidad de uso de materiales y energía durante la producción. Además de impulsar la reutilización de insumos a través de procesos de reconversión tecnológica y de reciclaje.

¹⁰ El ecosistema es un conjunto de sistemas complejos e interacciones entre las diferentes especies y su medio. Estas especies consumen constantemente materiales, energía y, por lo tanto, generan desechos; a este proceso que se denomina metabolismo (Seoáñez, 1998).

biológicas hace referencia a “los procesos internos de un organismo vivo, es decir, los procesos de ingesta 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”¹¹ (Carrillo, 2005:24).

Ayres (1989) es pionero en retomar el concepto de metabolismo como una metáfora hacia la industria (metabolismo industrial), el cual se refiere al proceso donde –al igual que los organismos vivos que ingieren energía y alimentos para mantenerse y permitir su crecimiento y reproducción– la sociedad y la industria convierte materias primas, energía y trabajo en bienes finales de consumo (más o menos duraderos) infraestructura y residuos (Carpintero, 2005).

En general, el metabolismo industrial se enfoca al flujo de materiales y energía en las sociedades modernas basadas en la industria, centrándose desde la extracción, producción, consumo y hasta su disipación (Fischer-Kowalsk, 1998). Por lo anterior, se trata de analizar a la economía en términos de sus flujos de energía y materiales.

Para Ayres (1989), el metabolismo industrial analiza la eficiencia de los procesos metabólicos como ocurren dentro de las especies particulares en un ecosistema, que corresponden a una aproximación analógica a las empresas individuales o de los diferentes procesos industriales. Así como en la biología, donde el metabolismo se refiere a los procesos químicos y las rutas dentro del organismo vivo en virtud de la cual se asimilan alimentos, sustancias químicas y se sintetizan para el mantenimiento y/o el crecimiento y donde la energía se almacena o es puesta en libertad.

Al analizar el grado de degradación al ambiente que la industria genera (como cualquier otra actividad humana), según Seoáñez (1998:35) se corrobora que ello implica invariablemente la:

[...] la transformación de materias primas o productos semi-elaborados, pero esta transformación nunca es total, generándose unos residuos, en forma de energía o de

¹¹ En termodinámica, la entropía es la magnitud física que mide la parte de la energía que no puede utilizarse para producir trabajo. La palabra entropía procede del griego (ἐντροπία) y significa evolución o transformación.

materia, que si no son recuperados y reutilizados (mediante procesos de reciclaje), se convierten en materiales susceptibles de producir daños sobre la naturaleza.¹²

La mayoría de los procesos industriales en la actualidad se encuentran basados en combustibles fósiles y, a menudo, con participación de altas temperaturas y una alta utilización de energía. Además, tienden a la participación de múltiples pasos por separado para el proceso de producción, que implica mayores costos, lo que provoca que en el intermedio metabólico muchos materiales y energía sean puestos en libertad como desechos, en lugar de ser reutilizados.¹³

El objetivo consiste en que la industria genere su propio ciclo metabólico cerrado y que los residuos generados sólo tengan dos vías principales: 1) ir a parar al ecosistema, como el resto de residuos de la naturaleza (residuos no peligrosos); o 2) ir a parar al sistema metabólico industrial de nuevo, eliminando de esta manera los diferentes residuos que generan los sistemas productivos lineales al introducir éstos como nuevos insumos materiales o energéticos (Seoánez, 1998).

El metabolismo industrial busca crear un flujo cíclico de los materiales y energía mediante la asociación y la conectividad con diversos tipos de empresas, permitiendo que el concepto de residuo desaparezca y que se genere un tránsito de materiales con la salida en una empresa y la entrada en alguna otra, incrementando la capacidad, trabajo y la vida útil de estos materiales.

En este enfoque, al igual que en los anteriores, se incentiva la prevención de la contaminación desde la industria alentando la innovación tecnológica fundamentada a través del fortalecimiento en la reformulación de los productos y procesos; rediseño del equipo productivo (tecnologías limpias) y un mayor impulso a la recuperación de recursos (reciclaje). La finalidad es acercarse a la interfaz entre la industria y la biósfera que es el objetivo básico de la ecología industrial¹⁴ y en donde la complementariedad entre las empresas es un elemento básico y necesario.

¹² Lo que implica se altere la cantidad y tipo de especies, perturbando los sistemas físicos y biológicos, en los que dichos daños son en la mayoría de las veces irreparables.

¹³ Por lo tanto, la reducción en el número de etapas dentro del proceso productivo puede ser un poderoso medio para aumentar la eficiencia energética y reducir costos (Tibbs, 1992).

¹⁴ Es así que la ecología industrial enfatiza en la necesidad de mejorar el conocimiento y las decisiones en las distintas empresas e industrias, dado que el modelo a seguir es el de la interacción

Es preciso puntualizar que la propuesta en los tres enfoques descritos, no es la de eliminar el consumo de los diferentes recursos, sino generar nuevas formas de consumo basadas en la utilización consciente de éstos, donde dichas formas de consumo garanticen su existencia para las actuales y las futuras generaciones.

La cooperación interfirma. Una estrategia económica y ambiental

El concepto “cooperar” varía en función del contexto en el que se ubique la discusión. Sin embargo, una definición de carácter general que puede guiar una caracterización de los actos cooperativos a nivel social es la que se encuentra en el *Diccionario de la lengua española* (1995) el cual indica que “cooperar se refiere a la acción de trabajar conjuntamente con otro u otros para el mismo fin”¹⁵ (un fin común), por lo que se puede considerar como una guía primordial para el establecimiento de vínculos entre personas, empresas o cualquier otro tipo de organización.

Aunque la cooperación pareciera ser la antítesis de la competencia, desde el enfoque de los sistemas complejos adaptables (SCA),¹⁶ se menciona que la necesidad de competir es un impulso que motiva, en muchas ocasiones, a los individuos a organizarse en grupos y colaborar entre ellos para optimizar sus fortalezas y habilidades. Donde el papel de la complementariedad es de suma importancia, ya que ante un ambiente competitivo los agentes pueden buscar la complementariedad con el fin de alcanzar objetivos comunes y mutuamente beneficiosos. En este sentido, Battram (2001) señala que la cooperación se encuentra determinada en gran medida por la competencia y/o la

entre especies que se genera en los ciclos naturales, la propuesta se basa en la interacción entre empresas para que se desarrollen los procesos de intercambio y complementariedad, en este marco la cooperación se convierte en un elemento esencial.

¹⁵ Definición del *Diccionario de la lengua española*: gramática y verbos (1995).

¹⁶ Este marco de análisis no es una teoría única, ya que abarca más de un marco teórico, es sumamente interdisciplinaria y busca las respuestas de algunas preguntas fundamentales sobre los sistemas vivos, adaptables y cambiantes. Se dice son sistemas complejo en el sentido de que es diverso y conformado por múltiples elementos interconectados y adaptativos, porque tienen la capacidad de cambiar y aprender de la experiencia.

complementariedad; el propósito de una alianza estratégica entre los agentes en un contexto específico (económico, político o social) es la de ser más competitivos e incrementar las posibilidades de reproducción y sobrevivencia.

Los acuerdos de asociación entre las empresas se consideran el origen de lo que genéricamente se conoce como cooperación empresarial. La cooperación, como se ha señalado, supone una decisión estratégica que permite el beneficio mutuo, tanto cuando se busca una estrategia de volumen (mayor presencia en el mercado) como cuando se pretenden crear efectos sinérgicos, proporcionando, a la vez, la flexibilidad necesaria para reaccionar ante la voluntad del entorno (Fernández y Arranz, 1999).

Sin embargo, la ambigüedad del concepto de cooperación, así como la amplia variedad de formas de hacerlo efectivo y los diversos objetivos lleva a resultados distintos. En el contexto económico de la empresa, la cooperación se asocia a conceptos, determinados por ciertas especificidades, tal es el caso de: asociaciones, consorcios, alianzas, empresas conjuntas (*joint venture*) o acuerdos de colaboración. En términos generales, la cooperación empresarial se convierte en una actividad económica compartida, encaminada al logro de beneficios mutuos entre los participantes, que en determinados contextos se adopta para competir en el mercado.

La cooperación empresarial desde el enfoque de costos de transacción

Los costos de transacción están asociados con la búsqueda de personal o de bienes, así como a los derechos de transferencia y negociación de los acuerdos. Existen otros costos debidos principalmente al seguimiento del contrato y a la revisión del cumplimiento del mismo.

Las transacciones implican costos, dado que a diferencia de un mercado sin fricciones (como se asume en la económica neoclásica), esta transferencia de bienes y servicios tiene lugar en un contexto de intercambio, donde la información es imperfecta y las partes han hecho inversiones en activos específicos,¹⁷ o donde

¹⁷ Se dice que un activo es específico cuando una porción sustancial de su cuasi-renta depende de otro activo. La cuasi-renta de un activo es el exceso de su valor sobre su valor residual; esto es, el exceso de su valor actual sobre su siguiente mejor uso.

cada parte busca promover la obtención de su propio interés a costa de otros, empleando un comportamiento oportunista o estratégico (Salgado, 2003).

Maximizar los beneficios implica una forma dinámica para la elección de alternativas en función del grado de aversión al riesgo y la dirección de la empresa. Para Fernández y Arranz (1999) esta elección se lleva, ante la presencia de incertidumbre, de forma secuencial, además de no conocerse de antemano todas las alternativas ni sus resultados, dada la racionalidad limitada de los agentes.¹⁸

La teoría de los costos de transacción cuestiona el enfoque ortodoxo de la empresa, el cual no considera los entornos dinámicos e inciertos que se derivan de la reacción de los competidores, los cambios en los gustos y necesidades de los consumidores, el avance tecnológico, los costos y ritmos de crecimiento de la demanda y la posibilidad de asumir decisiones influenciadas por el entorno.

A la luz de esta teoría se reconoce que dadas las condiciones del mercado a las que se enfrentan las empresas, lejos de operar en forma individual y aislada, han creado paulatinamente redes cooperativas, alianzas o fusiones que les permiten potencializar sus capacidades y aprovechar oportunidades. Lo anterior con el fin de reducir los diversos costos de transacción asociados al sistema económico.

En cierta medida la cooperación entre empresas ha permitido que éstas replanteen sus estrategias y objetivos al explorar nuevas dimensiones como cooperar con sus competidores (colaboración táctica), con el fin de competir a escalas cada vez mayores, o cooperar con sus principales socios para hacer más eficiente la producción, minimizar costos, compartir riesgos y/o capacidades tecnológicas y humanas.

El principal exponente de la teoría de los costos de transacción es O. Williamson (1990, 1975, 2002), quien parte de las propuestas pioneras de R. Coase (1937) para explicar la naturaleza de las empresas. El punto de partida se encuentra en el reconocimiento de que existen fallas en el funcionamiento del mercado, que hacen inoperantes las hipótesis de la competencia perfecta que

¹⁸ Es por esto que un aspecto fundamental dentro de la teoría de los costos de transacción son los aspectos legales, los cuales tienen entre sus funciones, dar certidumbre y a la vez disminuir los costos de transacción. Reconociendo que existe incertidumbre en el mercado y, por lo tanto, elevados costos en las transacciones, por ello se busca bajo los diferentes marcos legales la definición y protección de los derechos de propiedad.

habían orientado los planteamientos de la teoría económica neoclásica durante muchos años. Al reconocer que los mercados son imperfectos y que, por lo tanto, la economía se enfrenta a costos de transacción, los autores antes mencionados destacan la importancia de la empresa, como aquella organización que permite minimizar dichos costos, que se convierte en un mecanismo alternativo de coordinación de la actividad económica.

Para González (2003) se trata, por lo tanto, de un problema de equilibrio entre eficiencia empresarial y eficiencia de mercado. Si el mercado funcionara sin costos, la asignación empresarial carecería de sentido. Sin embargo, en determinadas circunstancias resulta más barato organizar transacciones a través de la empresa (autoridad y jerarquía) que a través del mercado (transacciones puntuales en forma de contratos).

La teoría de los costos de transacción plantea que tanto el factor humano como las propias características de las transacciones (respecto al bien a transferir y el entorno en el que se realiza) determinan su costo. Con el objetivo de minimizar éste en las distintas circunstancias, se postula la regulación de los intercambios mediante el desarrollo de acuerdos entre los agentes que intervienen en la transacción, plasmados en contratos (esto en la terminología de Williamson) o en estructuras contractuales, siendo el criterio de costo mínimo el que dirige la elección de los acuerdos de un tipo o de otro (Fernández y Arranz, 1999).

Para esta teoría, la empresa se presenta como un mecanismo de coordinación de la actividad económica que permite reducir los costos de transacción, si el costo de transacción se refiere a un enfoque microanalítico para el estudio de la organización económica, entonces ocurre una transacción cuando se trasfiere un bien o servicio a través de una inter-fase tecnológicamente separable (Williamson, 1994). Dicha transferencia genera costos, los cuales según Williamson pueden ser reducidos a través del sistema distributivo cooperativo que se plantee (una opción sería la integración vertical de la producción, en la cual se busca eliminar algunas de esas transferencias entre las inter-fases tecnológicas o los diferentes agentes).

A partir de esta teoría, se describe que la empresa surge como una organización que produce bienes y servicios y como mecanismos de asignación de recursos alternativos al mercado. Así, la empresa y el mercado poseen estructuras de gestión para realizar las transacciones, pero además existen una serie de posibilidades que conforman un tejido de relaciones complejas entre agentes económicos: en el ámbito del mercado, con unidades independientes,

se pueden establecer acuerdos y relaciones que impliquen asumir principios de autoridad propios de una conducta organizacional y, al contrario, en el ámbito interno de la empresa se pueden establecer pautas de actuación que simulen las reglas conductuales del mercado.

Bajo estas consideraciones, para Fernández y Arranz (1999), la cooperación entre firmas, desde la teoría de los costos de transacción, es considerada como una forma “híbrida” entre el mercado y la empresa, o bien como una forma intermedia de organización entre la externalización (mercado puro) y la internalización de actividades productivas (empresa pura).

El criterio que subyace a la elección de un proceso cooperativo entre empresas, es la búsqueda de la eficiencia económica, a través de la minimización de los costos de transacción. Si la transacción tiene una alta frecuencia, los activos que se intercambian son muy específicos y la incertidumbre es elevada, la internalización aparece como la mejor alternativa al mercado (de otra manera, los costos derivados de los contratos y su regulación serían muy elevados).¹⁹

La cooperación entre empresas, puede resultar una alternativa más eficiente como puede ser el caso de las *joint ventures* (o empresas conjuntas) que se refieren a una sociedad creada por dos o más empresas propietarias para la generación de una nueva entidad productiva específica, la cual puede surgir con objetivos tan diversos como es el caso posteriormente planteado, caso de una *joint venture* que tiene como propósito el reciclaje del PET, con el fin de apoyar en la medida de lo posible el cuidado del medio ambiente pero sin dejar de tener un interés económico.

Esta forma de cooperación supone, “durante un periodo de tiempo no muy corto, la aportación de fondos, tecnología, personal, bienes industriales, capacidad productiva, o servicios por parte de dos o más entes jurídicamente

¹⁹ Sin embargo, es necesario tomar en cuenta que la internalización, bien sea a través del crecimiento interno o mediante crecimiento externo, tal podría ser el caso de un proceso de absorción, fusión, o cualquier acuerdo cooperativo (el cual podría llevar a la integración vertical de la empresa o una parte de la producción), también podría presentar importantes inconvenientes de costos, no sólo los que se derivan de la adquisición de los activos, sino también de los que conlleva la organización y administración de un mayor tamaño.

independientes e interesados en crear una empresa cuya actividad desarrolle sus estrategias competitivas”²⁰ (González, 2003:71).

Las *joint venture*, según Fernández y Arranz (1999), pueden clasificarse principalmente en dos tipos (Cuadro 2):

CUADRO 2
Clasificación de Joint Ventures

En función de las aportaciones de los socios.	Si tienen la misma participación en el capital, suelen denominarse <i>joint ventures</i> equilibradas, y asimétrica si alguno de ellos tiene alguna participación mayor.
Según el ámbito geográfico en el que actúan.	Pueden ser nacionales, internaciones o mixtas. Para el caso de una normalmente extranjera, los socios locales aportan personal, el acceso al mercado y/o el conocimiento de las condiciones del entorno (el mercado). Por su parte, la empresa extranjera aporta fundamentalmente tecnología y capacidad de producción.

Fuente: elaboración propia a partir de Fernández y Arranz (1999).

Desde el enfoque de la teoría de los costos de transacción, este tipo de cooperación interfirmas, es la modalidad cooperativa más próxima a la jerarquía (empresa), porque surge como una forma intermedia entre el mercado y la empresa, pues es establecida mediante un mayor compromiso entre los miembros, sustentado mediante contratos y acuerdos de largo plazo. La *joint venture* es una entidad en la que se encuentran representados los socios, que se encargan de gestionar y controlar la utilización de los activos a la vez que se produce una distribución más precisa de los rendimientos correspondientes. Con ello se evita la necesidad de regular mediante complejas normas los acuerdos y los posibles conflictos que pueden suponer los aspectos no negociados (como ocurre en los acuerdos contractuales).²¹

²⁰ La característica más importante es que la empresa conjunta se configura con personalidad propia y realiza negocios por sí misma y en beneficio propio, aunque coordinada con los objetivos estratégicos de la empresa matriz y o empresas conformantes de la *joint venture*.

²¹ Además de que este tipo de organización permite definir desde un principio los derechos de propiedad, reduciendo así futuros costos de transacción (González, 2003). Esto resultaría ser una manera de integrarse, verticalmente, en algunos aspectos del sistema productivo.

Por lo regular, las *joint venture* se encuentran conformadas por empresas que tienen relaciones comerciales estrechas (en términos de la teoría de los costos de transacción “alta frecuencia”), fuera de la *joint venture*, una de las empresas es proveedor y la otra, usuario de algún producto o servicio (que regularmente suele ser un activo específico). Ello permite que mediante la conformación de esta entidad cooperativa y/o comercial se integren verticalmente partes del proceso productivo en donde se relacionan. El objetivo es incrementar la competitividad de las empresas y reducir, tanto los costos de transacción como los de producción, al considerar que las empresas se encuentran bajo la incertidumbre que el mercado genera en un ambiente competitivo.

Por lo tanto, la cooperación entre firmas se plantea como una estrategia económica que busca, entre otras cosas:

- Reducir la incertidumbre de las transacciones (compartiendo riesgos).
- Reducir los costos de transacción que se han elevado por efecto de la volatilidad del entorno.
- La búsqueda de sinergias ligadas a la combinación de operaciones complementarias.

En general, la internalización de ciertas actividades mediante la cooperación, hace posible alcanzar situaciones en las que los costos de transacción son menores, y con ello garantizar mayores beneficios para las empresas. Beneficios que no son exclusivamente económicos sino que pueden proporcionar otro tipo de ventajas como la reputación e imagen de la empresa y que eventualmente pueden repercutir en beneficios ambientales (externalidades positivas para la sociedad).

La cooperación, una estrategia económica y ambiental para las empresas

El establecimiento de vínculos de cooperación para la reducción de costos puede estar direccionado en varios sentidos que respondan a las condiciones de competencia que determina el mercado; en ese sentido, las demandas por el desarrollo de proyectos y estrategias ambientales se convierten también en una posible modalidad de cooperación para establecer mecanismos que redunden en

beneficios económicos y al menos contribuyan a reducir el impacto ambiental de la actividad productiva.

Minimizar los diferentes costos de transacción y/o de producción es un factor clave que impulsa la eficiencia económica de las empresas, por lo tanto, el cuidado al medio ambiente es un incentivo para que los empresarios asuman riesgos. Los aspectos ambientales son elementos clave de las actividades, productos, servicios o recursos físicos de la firma que pueden tener efectos potencialmente benéficos o perjudiciales sobre el medio ambiente y sobre sus finanzas. Un ejemplo sobre la afectación a las finanzas de las empresas surge del incumplimiento a los marcos regulatorios y los requerimientos legales en materia ambiental, tales como permisos y normas, las cuales pueden ser tanto estatales como locales o internacionales.

Las políticas y normas ambientales, en especial cuando son muy estrictas, no sólo pueden generar multas sino hasta el cierre de las empresas o el desprestigio ante los consumidores. Así, el cumplimiento de las normas no sólo es un elemento necesario para evitar multas o penalizaciones, sino que es un elemento de imagen para la empresa.

Como puntualiza Domínguez:

Hoy día existe la opción de que las empresas u organizaciones empresariales desarrollen procesos voluntarios de autorregulación ambiental para mejorar su desempeño ambiental y comprometerse a cumplir o superar los niveles establecidos en materia ambiental mediante normas voluntarias o especificaciones técnicas más estrictas [...] Así, mediante la realización, en forma voluntaria y mediante una auditoría ambiental, del examen metodológico de sus operaciones, de la contaminación y el riesgo que generan, así como del grado de cumplimiento de la normatividad ambiental y en su caso de los parámetros internacionales y de buenas prácticas de operación e ingeniería aplicables, con el objetivo de definir las medidas preventivas y correctivas necesarias para proteger al medio ambiente (2006:54).

Lo anterior resulta ser una opción para las empresas de adelantarse a las normas y legislaciones ambientales, permitiendo con ello no sólo una posición en el mercado mediante una imagen de empresa limpia (o socialmente responsable), sino que a la vez es posible el impulso a la eficiencia económica con el cuidado

del medio ambiente. Esto puede ser analizado como una estrategia de mercado para las empresas, estrategia que puede darse a un menor costo mediante la exploración y/o explotación de acuerdos de cooperación o colaboración, pues mediante esa forma de acuerdos es posible volver eficiente la transferencia tecnológica y de conocimiento (que puede darse a un menor costo compartiendo riesgos). Además, el cuidado del medio ambiente, como es el caso del impulso al reciclaje dentro de los sistemas productivos, no sólo es cuestión de cumplimiento de normatividades, sino es una opción explotada ya por diversas firmas para garantizar insumos en un futuro ante un posible decremento de éstos.

En esta lógica, se presenta en el siguiente apartado el caso de la cooperación empresarial para minimizar los daños ambientales a partir del reciclado del PET, caso analizado como una aproximación a una simbiosis industrial a partir del enfoque de la ecología industrial.

Cooperación empresarial y ecología industrial, una aproximación a una simbiosis industrial desde el reciclado del PET

El caso de estudio de la planta recicladora de PET que se analiza en este apartado (en adelante La Planta), es el resultado de un proyecto cooperativo entre tres empresas, donde se unen esfuerzos, financieros, tecnológicos y humanos de las firmas integrantes. Empresas que se encuentran relacionadas en un sistema productivo más general, y en conjunto generan un producto final que es lanzado al mercado (refrescos y aguas purificadas embotelladas). Aunque se involucran en diferentes momentos de la producción y cada empresa tiene sus propias unidades de negocio, desarrollan en conjunto este proyecto, en el cual las empresas buscan la obtención de beneficios ambientales al disminuir, en la medida de lo posible, la presión que los plásticos tales como el PET ejercen sobre el entorno.

El principal impulso que lleva a las empresas –la refresquera dueña de la marca, junto con su filial en México (en adelante la Empresa A), la embotelladora/distribuidora del producto (en adelante la Empresa B) y la empresa transformadora del PET (en adelante la Empresa C)– a crear La Planta, es la de disminuir la presión que un residuo sólido como el PET ejerce sobre el medio ambiente. Así como la obtención de ventajas competitivas frente a sus competidores directos, considerando que en México ninguna refresquera, hasta

antes de este proyecto, recuperaba el PET postconsumo para que éste fuera reintroducido al mismo mercado.²²

La Planta se encuentra constituida como una *joint venture*, la cual cuenta con independencia jurídica, pero el negocio que realiza es en beneficio de las empresas que la integran. Es una forma de integración vertical de la producción como lo plantea la teoría de los costos de transacción, lo que en términos de Williamson es una forma de gobierno híbrida más cercana a la jerarquía (empresa), la cual se da mediante la división de responsabilidades en el sistema productivo y que permite compartir riesgos.

La Planta funciona básicamente como una relación de proveedores y clientes (usuarios), que les permite evolucionar conjuntamente, y hace posible la explotación de una nueva tecnología, que beneficia al medio ambiente. Ello al reducir parte de los desechos plásticos generados por los elevados índices de consumo de refrescos y aguas purificadas que existen en México, e impulsando a la vez el mercado de reciclaje del PET, el cual involucra, entre otras cosas, mayores empleos y mejor pagados.

Desde el enfoque de la ecología industrial, el caso se aproximaría a algunos de los objetivos de esta teoría, destacando la importancia que tiene el aprovechamiento racional de los recursos que las diferentes industrias utilizan para hacer sustentable la interacción con el medio ambiente. Esto implica que las empresas asuman responsabilidades no sólo en beneficio de su productividad sino también con el medio ambiente. Además de reconocer la importancia que tienen los factores tecnológicos para la interacción entre las necesidades de la sociedad, la eficiencia en la producción y su relación con el entorno, todo ello bajo el impulso del reciclaje de residuos.

La aproximación a una simbiosis industrial

Desde el enfoque de la analogía con los sistemas naturales, Graedel y Allenby (1995) enfatizan la necesidad de frenar el deterioro al ambiente a partir de la redefinición de los procesos productivos, pues la gran mayoría de éstos, durante

²² La construcción de La Planta concluyó en diciembre de 2004 y fue inaugurada en julio de 2005. El proyecto contó con una inversión de 220 millones de pesos.

años, han funcionado de manera lineal. Evitando con ello que los diferentes sistemas involucrados se retroalimenten y que no sea posible cerrar los ciclos de los diferentes materiales y energía, provocando grandes pérdidas de recursos (principalmente cuando dichos recursos son potencialmente reutilizables). Así, una prioridad que plantea la ecología industrial, es que al igual que un ecosistema, en el sistema industrial, cada proceso y cadena de procesos, sean analizados como una parte dependiente e interrelacionada de un todo, basado en la retroalimentación que permita la co-evolución entre las empresas y de ellas con el medio ambiente.

La estrategia propuesta radica principalmente en los residuos de una empresa o un proceso productivo específico, sean considerados como recursos dentro del mismo sistema productivo, o bien, para procesos productivos de alguna otra empresa, permitiendo que en toda etapa los residuos sean considerados recursos.

Se hace necesario generar esos símiles basados en la retroalimentación entre el sistema económico y los sistemas naturales para evitar y resarcir en la medida de lo posible el deterioro al medio ambiente. En este sentido, un concepto importante es el de simbiosis industrial, el cual se refiere al intercambio de materiales y/o de energía entre diferentes firmas individuales. El objetivo es llegar a un balance entre la actividad humana y el resto de la naturaleza.

Los sistemas productivos podrán ser sostenibles en la medida en que sean capaces de imitar el comportamiento de los sistemas naturales, los cuales se rigen por conductas de interacción y retroalimentación entre los agentes que pertenecen al mismo ecosistema, para la eficiente utilización de materiales y energía, lo cual requiere de la cooperación y/o la complementariedad entre los agentes involucrados en un entorno que les permite generar dichos procesos simbióticos.

Considerando que la sostenibilidad en los sistemas naturales es posible, gracias a que los ecosistemas reciclan y rehúsan todos los elementos de modo que se liberan de los desechos y reponen los nutrientes, el ejemplo de una aproximación a una simbiosis industrial es el que gira en torno a La Planta, simbiosis formada por las tres empresas que integran la *joint venture*, y donde esta última funciona como un agente más en el sistema.

Las empresas que integran La Planta se encuentran relacionadas en sus sistemas productivos con un activo específico como es el caso del PET, el cual provoca una relación comercial entre las empresas con una alta frecuencia.

Antes de la conformación de La Planta las empresas tenían un proceso productivo en relación con el PET, básicamente lineal; en ningún momento el PET post-consumo era reintroducido nuevamente a alguno de sus procesos productivos.

Todos los envases de PET post-consumo, hasta antes de La Planta, terminaban como residuos (en basureros) o como material reciclado utilizado en otras industrias excepto en la de origen (botellas para envasado de refrescos). Pero con la puesta en marcha de La Planta se tiene la capacidad de procesar hasta 25 mil toneladas de PET al año.

Además de las relaciones de colaboración que surgen entre las empresas que integran La Planta se han podido generar vínculos sinérgicos con otras empresas (aunque no necesariamente aterrizados en lazos comerciales), las cuales compran o en ocasiones reciben en donación algunos de los subproductos generados en el proceso de reciclado del PET. Dichos subproductos y las empresas a las que son vendidos o donados se presentan en el Cuadro 3.

Considerando que uno de los objetivos de la ecología industrial es el de imitar a los sistemas naturales, dicho proceso implica cerrar los ciclos de materiales, es decir, reciclar la mayoría de los residuos con el fin de alargar la vida útil de éstos.

Pero en realidad La Planta surge más bien como una forma de contribuir al cuidado del medio ambiente que actualmente la sociedad les exige a empresas como las que integran La Planta. Sus principales fuentes de negocio de la empresas que integran la Planta, no es el reciclaje, pero a pesar de ello, el reciclaje es una estrategia comercial (de imagen ante la sociedad) o una estrategia que les permite adelantarse a una posible escasez de materiales vírgenes, y que a fin de cuentas es explorar una nueva línea de negocio que se presenta como económicamente viable.

Como se presenta en el Cuadro 3, hay empresas que compran algunos de los subproductos que La Planta genera, estas empresas se han beneficiado a partir de la obtención de insumos de buena calidad (gracias al proceso químico de limpieza) y a precios competitivos. Este caso muestra la posibilidad de que eventualmente otros subproductos, hoy considerados desechos, pudieran aprovecharse como insumos en otro sistema productivo.

En el Diagrama 1 se muestra la simbiosis que en torno al reciclado del PET se ha podido desarrollar. Donde el acercamiento a la simbiosis parte de la utilización de envases de PET que la Empresa A requiere para que la Empresa

CUADRO 3
Subproductos generados por La Planta

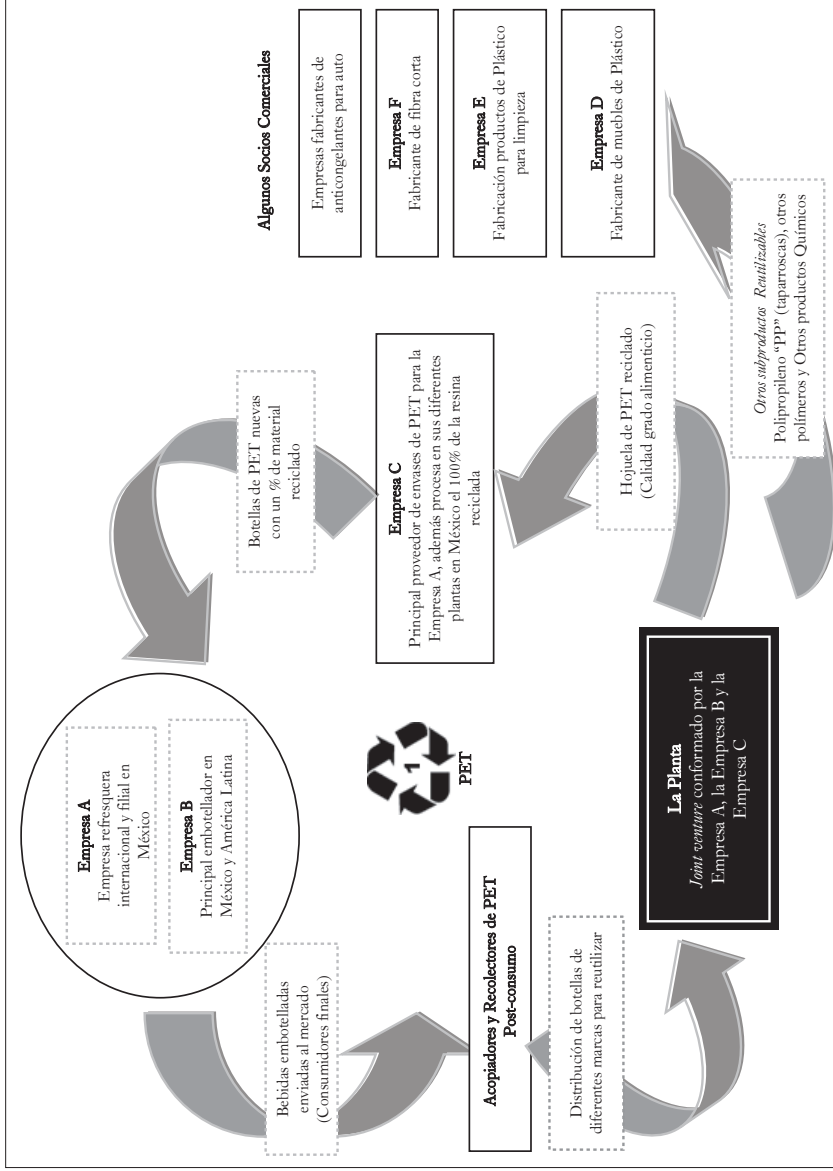
Subproductos	Origen	Destino	Empresa que los emplean
Finos remanentes de PET	Es un polvo de PET o la hojuela que no cumple con el tamaño, que surge dentro del proceso de reciclado.	El fino de PET, por su ligereza no puede ser utilizado para la fabricación de nuevas botellas.	Es vendido casi en su totalidad a empresas chinas, el cual es utilizado principalmente para la fabricación de fibra corta y poliéster.
Polipropileno (PP) y Polietileno de baja densidad (LDPE) reciclados. (<i>subproducto ya comercializable</i>)	El Polipropileno (PP) reciclado proviene de las taparrosas.	Es dirigido a la fabricación de diversos productos de plástico (muebles y utensilios para el hogar).	Empresas fabricantes de muebles de plástico, empresas fabricantes de utensilios para el hogar y empresas fabricantes de microfibra.
Etilenglicol (EG) y Tereftalato de Dimetilo (DMT) (<i>potencialmente comercializable</i>)	Sustancias químicas utilizadas en el proceso químico de limpieza del PET.	Sustancias químicas potencialmente utilizables para la generación de anticongelantes.	Aun no existen empresas que compren dichas sustancias químicas pero la mayor parte se dan a donación.

Fuente: elaboración propia, a partir de las entrevistas hechas al gerente general de Operaciones de la Planta (29 de julio y 9 de septiembre de 2008).

B embotelle y posteriormente distribuya los diferentes productos en México, quienes compran los envases a la Empresa C. El producto embotellado sale al mercado; una vez consumido, una parte de los envases son acopiados para su reutilización.

La Planta es la encargada de procesar el material postconsumo (bajo un proceso químico de limpieza), con la cual producen una hojuela de PET calidad grado alimenticio (plástico que cumple con las normas de calidad para el envasado de alimentos y bebidas), dicha hojuela es dirigida en su totalidad a diferentes plantas de la Empresa C, para la fabricación de nuevas botellas con un porcentaje de material reciclado. Los nuevos envases son para el uso exclusivo de productos de la Empresa A. En el proceso surgen otros subproductos, muchos de los cuales ya se han podido comercializar, y algunos otros potencialmente comercializables (como se presenta en el Cuadro 3).

DIAGRAMA 1
Simbiosis industrial



Fuente: elaboración propia a partir de las entrevistas al gerente general de Operaciones de La Planta.

Dentro de los subproductos vendidos a otras empresas se encuentra el polipropileno, el principal plástico proveniente de las taparrosas, que se destina a la fabricación de muebles de plástico (sillas, mesas, etcétera), como es el caso de la Empresa D (instalada dentro del parque industrial donde se encuentra La Planta), evitando con ello costos de transporte, al ser empresas que se encuentran muy cerca. Otras empresas que compran subproductos producidos por La Planta son la Empresa E, que se dedica a la fabricación de utensilios para el hogar (cubetas, tinas, etcétera). Y finalmente la Empresa F, que se dedica a la fabricación de fibra corta (fibras de plástico para la elaboración de cepillos y escobas, etcétera).

Al igual que la Empresa D, la empresa E compra polipropileno, en tanto que, la Empresa F, y algunas empresas chinas, compran el PET que no cumple con las normas de calidad como es el caso del tamaño (principalmente el PET en polvo, el cual se denominan finos) o el que llega a ser contaminado por diferentes causas durante el proceso (es decir que no cumple con la calidad grado alimenticio).

Finalmente, uno más de los subproductos que surgen de La Planta, son las sustancias químicas que se utilizan en el proceso de limpieza de la hojuela de PET, tales como el Tereftalato de Dimetilo (DMT) y el Etilenglicol (EG), sustancias que pueden ser utilizadas para la generación de otros productos, como es el caso de anticongelantes para la industria automotriz, y que actualmente son dados a donación a algunas empresas, quienes los utilizan principalmente para la limpieza de sus maquinarias.

Es así que con los acuerdos comerciales que La Planta ha establecido, hoy pueden reintegrarse subproductos a procesos productivos de otras empresas, lo cual ha permitido la obtención de ingresos adicionales, pero sobre todo evitando su disipación al medio ambiente como desechos.

Para la ecología industrial resulta de suma importancia el reconocimiento de que muchos de los actuales procesos productivos ejercen consecuencias negativas sobre el medio ambiente. Por lo cual el énfasis se centra en establecer la importancia de examinar a los procesos de fabricación no como las operaciones individuales, sino como componentes de un todo más amplio basado en la cooperación y la complementariedad entre los agentes, facilitando las oportunidades para hacer más eficiente al sistema económico, sin la necesidad de seguir degradando al medio ambiente. De acuerdo con el caso aquí planteado, se destaca que es posible seguir con un desarrollo industrial eficiente, el cual sea amigable con el

medio ambiente, a través del rediseño del sistema productivo, que permita la óptima utilización de la energía y los materiales que son objetivos que, a partir del reciclaje del PET, La Planta logró implementar.

Conclusiones

La ecología industrial plantea la necesidad de reconfigurar la actividad industrial en respuesta al conocimiento de sus implicaciones ambientales, promoviendo el desarrollo de métodos de producción que emulen características de los sistemas biológicos. Por lo tanto, se destaca la importancia de la cooperación entre empresas como un elemento esencial para alcanzar dichos fines.

Respecto a la viabilidad de un proceso cooperativo entre empresas, en el que se enmarca el caso de estudio, se identificó la existencia de una organización híbrida (relación entre mercado y jerarquía, como lo afirma la teoría de los costos de transacción) la cual surgió como una alternativa para la reducción de los diferentes costos de producción y transacción a los que las empresas integrantes se enfrentan, impulsada principalmente por la frecuencia de las transacciones y la especificidad de los activos.

Ese fenómeno acontece debido a que la explotación de una nueva tecnología, que beneficia al ambiente, se basa en la disminución de residuos sólidos, generados por los elevados niveles del consumo de refrescos y aguas purificadas en México, lo que resulta en el impulso de un mercado de reciclaje del PET. El objetivo fundamental de este mercado tiene dos fines: 1) evitar la acumulación de residuos sólidos, potencialmente dañinos para el ambiente; y 2) el tratamiento de éstos, que detona en la obtención de una resina (con calidad grado alimenticio) que implica que el material se dirija a su mercado de origen, impidiendo con ello que la resina se pague a menores precios (como en el caso de la resina dirigida a otras industrias).

A partir de los principios de la ecología industrial se puede afirmar que el caso de estudio antes descrito (La Planta) se aproxima a algunos de los objetivos que esta teoría plantea, donde se fundamenta en el aprovechamiento racional de los recursos que las diferentes industrias utilizan para hacer sustentable su interacción con el medio ambiente. Lo cual implica que las empresas asuman responsabilidades no sólo en beneficio de su productividad sino también respecto al medio ambiente.

La ecología industrial enfatiza la necesidad de hacer compatible a la industria con los sistemas naturales, siendo una de las principales estrategias el reciclaje de diversos residuos (como el caso aquí presentado del PET).²³

El caso estudiado permite analizar la factibilidad de desarrollar programas eficientes de recuperación de residuos que sean ambiental y económicamente viables (como puede ser el caso de un proceso cooperativo tipo *joint venture*), que además refiere a un punto fundamental para la ecología industrial: la de mejorar el conocimiento y las decisiones en las industrias o empresas sobre el uso eficiente de materiales, la reducción de desechos, la promoción al reciclaje, y la explotación de tecnologías limpias, con la finalidad de prevenir la contaminación y lograr un balance entre las actividades de la sociedad con su entorno.

Por las características ya mencionadas, el caso de estudio puede ser considerado un ejemplo de simbiosis industrial, al tener como objetivo un cambio en la percepción de las industrias de un sistema lineal de recursos a un sistema integrado, en el que se potencialicen los beneficios y oportunidades de negocio entre industrias o empresas de diferentes sectores.

Se destaca la importancia de la ejecución del reciclaje de los diversos insumos materiales y energéticos tanto de la industria como el hogar, como una alternativa que debe impulsarse como estrategia económica y ambiental, de acuerdo con el enfoque de la ecología industrial. Lo anterior con el fin de reducir el volumen de residuos, reducir el costo de tratamiento, y evitar los problemas ambientales que la acumulación de los diferentes residuos genera (ello sin la necesidad de disminuir la productividad).

Finalmente es necesario señalar que, dadas las presiones ambientales que actualmente vive el planeta, es necesario y urgente el impulso de políticas ambientales y tecnológicas que incentiven la cooperación entre empresas a favor del reciclaje, como lo plantea la ecología industrial, con lo cual no se busca frenar el desarrollo económico de las empresas y/o los países, sino buscar alternativas de producción y de consumo que sean sustentables en el largo plazo.

²³ El cual por su acumulación representa un grave problema ambiental, y un importante desperdicio de recursos al ser un material cien por ciento reciclable y principalmente que puede ser dirigido al mercado de origen.

Bibliografía

- Ayres, R.U. (1989), "Industrial metabolism", en J. Ausubel (ed.), *Technology and Environment*, Washington DC, National Academy Press.
- Batram, A. (2001), *Navegar por la complejidad: Guía básica sobre la teoría de la complejidad en la empresa y la gestión*, España, Ediciones Granica.
- Braungart, M. (1997), "Product life-Cycle Management to Replace Waste Management", en Scolow, R. *et al.*, *Industrial Ecology and Global Change*, Reino Unido, University of Cambridge.
- Bunker, S. (1997), "The Political Economy of Raw Materials extraction and Trade", en Scolow, R. *et al.*, *Industrial Ecology and Global Change*, Reino Unido, University of Cambridge.
- Carpintero, O. (2005), *El metabolismo de la economía española. Recursos naturales y huella ecológica (1955-2000)*, España, Fundación César Enrique.
- Carrillo, G. (2005), "Ecología industrial y sustentabilidad: el proyecto sinergia de subproductos en Altamira-Tampico", tesis presentada para obtener el grado de doctora en ciencias económicas y empresariales de la Universidad de Barcelona, España.
- Cervantes, G. (2004), "Conceptos de ecología industrial" [http://portalsostenibilidad.upc.edu/detall_01.php].
- Coase, R. (1937), "La naturaleza de la empresa", en O. Williamson y S. Winter (1996), *La naturaleza de la empresa: orígenes, evolución y desarrollo*, cap. 2, México, Fondo de Cultura Económica.
- Cleveland, J. y M. Ruth (1999), "Indicators of Dematerialization and the Materials Intensity of Use", *Institute of Technology and Yale University*, vol. 2, núm 3.
- Domínguez, L. (2006), *México: empresa e innovación ambiental*, México, Miguel Ángel Porrúa.
- Erkman, S. (2001), "Industrial Ecology: a new perspective on the future of the industrial system", en Assemblée annuelle de la Société Suisse de Pneumologie, Ginebra, 30 de marzo.
- Fernández, J. y N. Arranz (1999), *La cooperación entre empresas: análisis y diseño*, España, Editorial Esic.
- Fischer-Kowalski, M. (1998), "Society's Metabolism: The Intellectual History of Materials Flow Analysis, Part I, 1970-1980", *Institute of Technology and Yale University*, vol. 2, núm. 1.
- Fischer-Kowalski, M. y W. Huttler (1998), "Society's Metabolism: The Intellectual History of Materials Flow Analysis, Part II, 1970-1980", *Institute of Technology and Yale University*, vol. 2, núm. 4.

- Frosch, R. y Gallopoulos, N. (1992), "Towards an industrial ecology", en A.D. Bradshaw, R. Southwood y F. Warner (eds.), *The Treatment and Handling of Wastes*, Londres, Chapman and Hall for the Royal Society, pp. 269-292.
- Frosch, R. (1992), "Industrial Ecology: A Philosophical Introduction", *National Academy of Sciences, USA*, núm. 89, pp. 800-803.
- Gallopoulos, N. (2006), "Industrial ecology: an overview", *Progress in Industrial Ecology – An International Journal*, vol. 3, núms. 1/2.
- González, L. (2003), *Cooperación y empresas: retos, presente y futuro*, España, Thomson.
- Graedel, T.E. y B.R. Allenby (1995), *Industrial ecology*, Estados Unidos, Published by Prentice Hall.
- Lowe, E. (1993), "Industrial Ecology: An Organizing Framework for Environmental Management", en *Total Quality Environmental Management* (TQEM Autumn).
- Martínez-Alier, J. y J. Roca (2000), *Economía ecológica y política ambiental*, México, Fondo de Cultura Económica.
- Odum, E. (1979), *Ecología: el vínculo entre las ciencias naturales y las sociales*, México, CECSA.
- Salgado, E. (2003), "Teoría de los costos de transacción: una breve reseña", *Cuadernos de Administración*, núm. 16, julio-diciembre, Colombia, pp. 61-78.
- Seoánez, M. (1998), *Ecología industrial: ingeniería medioambiental aplicada a la industria y a la empresa*, España, Ediciones Mundi-Prensa.
- Tibbs, H. (1992), "Industrial Ecology: An Environmental Agenda for Industry", en *Managing for the Global Environment - a Complex Challenge*.
- Ulrich, Von Weizsäcker E. et al. (1997), *Duplicar el bienestar con la mitad de los recursos naturales: Factor 4*, Informe al Club de Roma; Galaxia Gutenberg- Círculo de Lectores, Barcelona, España.
- Williamson, O. (1990), *Las instituciones económicas del capitalismo*, México, Fondo de Cultura Económica.
- et al. (1975), "Entendiendo la relación laboral: el análisis del intercambio idiosincrásico", *The bell journal of economic*.
- (2002), "The theory of the firm as governance structure: from Choice to contrac", *Journal of the economic perspectives*, vol. 16, núm. 3, verano 200, pp. 171-195.
- (1994), "Transaction cost economics and organization theory", *The Handbook of economic sociology*, Smelser, N. y Richard Swedberd (eds.), Princenton University Press.

TERCERA PARTE

La agenda de la ecología industrial en México

CAPÍTULO XI

Bolsa de subproductos: una estrategia de ecología industrial

Raúl Hernández Mar
Santiago Fernández Gabriel

La ecología industrial (EI) es un área de conocimiento interdisciplinaria, la cual intenta asemejar el funcionamiento de la industria a los ecosistemas naturales, a partir de la interacción entre industrias, el medio social y el natural, con el propósito de cerrar el ciclo de materiales y así obtener un nivel cero de residuos. Para Frosch (1989), la EI es un “sistema que maximizará el uso económico del material de desecho y de productos al final de sus vidas útiles, como insumo para otros procesos e industrial”.

Sin embargo, la EI no solamente se concentra en incorporar los métodos de cierre de ciclo o de *simbiosis industrial* y *sinergia de subproductos*, el principio que siguen estos conceptos, es que el flujo de residuos de una industria se incorpore a otra convirtiéndose en materia prima para la segunda, con lo que se busca cerrar el ciclo de materiales (Ayres, 2001).

En este sentido, la EI se sirve de otras herramientas y métodos para contribuir a disminuir el impacto ambiental y aumentar la rentabilidad en las industrias; para Cervantes, la EI utiliza estas herramientas y métodos para “analizar y fomentar las interacciones e interrelaciones existentes entre los sistemas industriales y también otras que se desarrollan al interior de una sola empresa o sistema” (2009:68). Entre los métodos y herramientas utilizadas por la EI se mencionan los siguientes:

- Análisis de ciclos de vida (ACV)
- Análisis de flujo de materia (AFM)
- Diagramas de flujo

- Mercado de subproductos
- Metabolismo industrial
- Análisis económico ambiental
- Producción más limpia
- Ecoeficiencia
- Prevención de la contaminación (P2)

En este capítulo se aborda específicamente la herramienta del *mercado o bolsa de subproductos*, la cual consiste en la compra y venta de residuos o subproductos, derivados del ciclo de vida de un producto y que a partir de su reutilización pueden ser incorporadas al ciclo de vida de un producto nuevo.

Esta herramienta, entre otras, coadyuva a que la EI pueda cumplir con uno de sus elementos clave, que consiste en imitar el funcionamiento de los ecosistemas naturales en donde los residuos de una especie son la materia prima de otra, sin dejar de lado que la EI busca “crear una red de industrias, vinculadas por sus residuos y a la vez relacionadas con el entorno social y natural”.

Se presenta también, una revisión documental e histórica de la creación de las bolsas de subproductos en Europa y en algunos países del continente americano, con el propósito de identificar los factores que favorezcan el desarrollo de un modelo de bolsa de subproductos, basado en una sana interacción entre empresas ofertantes y demandantes de materia prima que devengue en un beneficio económico y ambiental.

Ciclo de vida de los productos

Para que los seres vivos del planeta puedan vivir, requieren de alimentos, agua y energía. Sin embargo, en las últimas décadas el nivel real de consumo se ha incrementado de un modo constante a nivel global, agotando los elementos básicos para la sobrevivencia humana; según Wallerstein, “el consumismo ha sido la base de nuestras actividades productivas y especulativas” (2012).

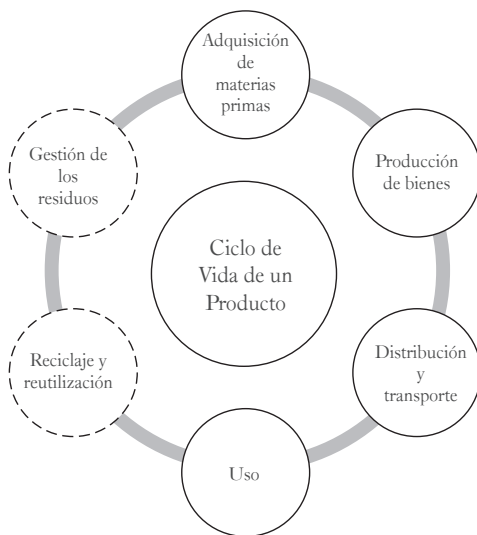
La Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat) reporta que la huella ecológica para el 2003 fue de 2.2 hectáreas per cápita. Sin embargo, nuestro planeta tan sólo es capaz de otorgar a cada uno de sus habitantes cerca de 1.8 hectáreas. Si sumáramos las huellas ecológicas de cada uno de los habitantes

del planeta en ese año, el resultado sería que se requiere de 1.25 planetas para satisfacer las necesidades de toda la población.

Se sabe que toda actividad humana y prácticamente todos los procesos industriales producen impactos ambientales, debido a que implica el consumo de recursos, la emisión de contaminantes y la generación de subproductos. Cualquier producto tiene un *ciclo de vida* que inicia con el diseño y desarrollo del producto y finaliza cuando deja de ser útil, punto en el que inicia la reutilización o reciclaje (Figura 1). El ciclo de vida de un producto se explica a continuación:

- *La adquisición de materias primas*, es una actividad necesaria para la extracción de las materias primas y las aportaciones de energía del medio ambiente, incluyendo el transporte previo a la producción.
- *El proceso y fabricación*, son actividades necesarias para convertir las materias primas y energía en el producto deseado. En la práctica esta etapa se compone de una serie de subetapas con productos intermedios que se forman a lo largo de la cadena del proceso.

FIGURA 1
Ciclo de vida de un producto



Fuente: elaboración propia.

- *La distribución y transporte*, es el traslado del producto final al cliente.
- *El uso*, es la utilización del producto acabado a lo largo de su vida en servicio.
- *El reciclaje*, comienza una vez que el producto ha servido para su función inicial y consecuentemente se recicla a través del mismo sistema de producto (ciclo cerrado de reciclaje) o entra en un nuevo sistema de producto (ciclo de reciclaje abierto).
- *Gestión de los residuos*, comienza una vez que el producto ha servido a su función y se devuelve al medio ambiente como residuo.

La etapa del reciclaje puede entenderse como un proceso fisicoquímico o bien mecánico que consiste en someter un producto, una materia o un material ya utilizado a un tratamiento por el cual se obtiene materia prima como producto final, o incluso un nuevo producto. Por otra parte, según la ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR), el reciclado es la “transformación de los residuos a través de distintos procesos que permiten restituir su valor económico, evitando así su disposición final, siempre y cuando esta restitución favorezca un ahorro de energía y materias primas sin perjuicio para la salud, los ecosistemas o sus elementos” (2012:6).

[La gestión integral de residuos es] un conjunto articulado e interrelacionado de acciones normativas, operativas, financieras, de planeación, administrativas, sociales, educativas, de monitoreo, supervisión y evaluación, para el manejo de residuos, desde su generación hasta la disposición final, a fin de lograr beneficios ambientales, la optimización económica de su manejo y su aceptación social, respondiendo a las necesidades y circunstancias de cada localidad o región (LGPGIR, 2012:43).

Es en este punto del ciclo vital de los productos (reciclaje y gestión de los residuos), es donde la EI adquiere un papel preponderante junto con la herramienta de la bolsa de subproductos, sobre todo si se considera que la ecología industrial, según Carrillo, “es interpretada también como una nueva aproximación al diseño industrial de productos y procesos y a la implementación de estrategias manufactureras sustentables”. En este concepto, el sistema industrial no es visto de manera aislada sino circundante y en concierto con otros

sistemas. Se busca optimizar los ciclos de materiales, desde el material virgen hasta el material final para componente, para producto, para producto residual y hasta su disposición (Jelinski *et al.*, 1996).

Aprovechamiento de residuos

El manejo de residuos ha sido un problema a escala mundial, lo que ha generado diferentes iniciativas a lo largo del globo que han derivado en la aparición de nuevos conceptos; en la Unión Europea, por ejemplo, se han buscado alternativas de solución, como resultado se generó en 1992 el “Programa de Acción en Materia de Medioambiente”, donde se presentan tres conceptos que guían actualmente este tema (Cortinas, 2003).

- *Minimización*. Es la búsqueda de reducción de generación de residuos. Para lograrlo se pueden modificar cambios en los procesos productivos, en las materias primas o en el método de fabricación.
- *Valorización*. Se refiere a que se acepta que se generan residuos y se utilizan diversas técnicas para reutilizarlo. Ya sea en el proceso productivo propio o de otra empresa. Este concepto es el que fundamenta la creación de las bolsas de bolsas de subproductos.
- *Tratamiento*. Son los procesos de postproducción, que tienen la finalidad de reducir la toxicidad de los residuos que están destinados a un depósito de basura o relleno solitario de disposición final.

Por otra parte, se maneja el concepto de las 3R's, que se atribuye a Japón desde la introducción de este término en el 2002 en sus políticas públicas nacionales para establecer una sociedad orientada al reciclaje. Desde ese momento el concepto se ha utilizado en muchos países incluyendo a México. Las 3R's significa:

- *Reducir*. Evitar todo aquello que de una u otra forma genera un desperdicio innecesario.
- *Reutilizar*. Volver a usar un producto o material varias veces sin tratamiento. Darle la máxima utilidad a los objetos sin la necesidad de destruirlos o deshacerse de ellos.

- *Reciclar*. Utilizar los mismos materiales una y otra vez, reintegrarlos a otro proceso natural o industrial para hacer los mismos o nuevos productos, utilizando menos recursos naturales.

En países como México, estos principios de manejo y aprovechamiento de los residuos son utilizados de manera individual en el interior de las empresas con el objetivo de disminuir costos en la producción, de igual manera se han generado terceras empresa con el objetivo primordial de dar tratamiento a los residuos, como lo es el caso de las recicladoras que se alojan en las inmediaciones de los parques industriales o a las afueras de las ciudades.

De esta manera, se genera un estiramiento del ciclo de vida de algunos productos, por medio del reciclaje, pero no se asegura la re inserción en un proceso productivo, tampoco se realiza una vinculación entre las empresas generadoras de residuos, de manera que este trabajo se hace de forma aislada contraviniendo a la interacción de un ecosistema como lo planteado por las bolsas de subproductos desde el enfoque de ecología industrial.

Bolsa de subproductos desde la ecología industrial

El concepto de bolsa o mercado de subproductos, desde el enfoque del reciclaje, se identifica como una estrategia de valorización de los materiales, es decir del principio y conjunto de acciones asociadas cuyo objetivo es recuperar el valor remanente o el poder calorífico de los materiales que componen los residuos, mediante su reincorporación en procesos productivos, bajo criterios de responsabilidad compartida, manejo integral y eficiencia ambiental, tecnológica y económica (LGPGIR, 2012:7).

Por otra parte, la bolsa de subproductos, desde la EI, se basa en la desmaterialización de la economía, es decir, del principio de utilización de menos *input* por unidad producida entendiendo 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 nacional, de modo que la disminución de este volumen constituye un proceso de desmaterialización que permitirá el crecimiento y reducirá el impacto sobre el ambiente.

Sin embargo, Martínez Alier y J. Roca aluden a una versión “fuerte” que implicaría una disminución real del volumen de materiales utilizados en la actividad económica (Martínez y Roca, 2000).

Por lo que, si aceptamos que nos encontramos en un contexto donde se debe postergar el alcance a los límites tanto biofísicos como sociales del crecimiento, a partir de innovaciones industriales que impacten favorablemente al ambiente, tales como innovaciones ambientales en la gestión de residuos industriales, este tipo de estrategias de innovación y cooperación apoyarían a allanar los caminos hacia el desarrollo sustentable, pero además daría a las empresas ventajas competitivas en un mercado, donde los procesos productivos favorables al ambiente son aceptados y demandados.

El concepto de bolsa de subproductos

Una bolsa de subproductos se define como un medio de cooperación entre empresas, que fomente el intercambio de subproductos industriales y comerciales entre las empresas que los generan y otras que pueden utilizarlos como materia prima o auxiliar en sus procesos de fabricación.

La bolsa de residuos industriales es un servicio especializado de información, que permite contactar oferentes y demandantes de materias excedentes o residuos (Cenma, 1999). En América Latina el Congreso Nacional de Medio Ambiente (Conama), señala:

[...] las tecnologías disponibles para la eliminación de residuos industriales aún no permiten asegurar la plena protección del medio ambiente, por consiguiente, reutilizar una parte considerable de estos residuos como materias primas en otros procesos productivos representan un enorme beneficio económico y ambiental.

Una forma efectiva de reutilizar los residuos es creando una “bolsa de residuos”, que consiste fundamentalmente en disponer de un sistema de información de fácil acceso, que indique qué residuos se están generando, qué industrias y dónde los producen, con el propósito de crear convenios de reutilización entre las distintas industrias. El procedimiento usual consiste en una central de operaciones que reúne información relativa a los residuos factibles de ser reutilizados, para

posteriormente publicarla y distribuirla entre los industriales, mediante un boletín periódico. La circulación efectiva del boletín es esencial y puede ser gestionado por asociaciones industriales, oficinas gubernamentales o servicios contratados.

Para desarrollar esta propuesta es necesario establecer un sistema de cooperación, con el objetivo general de definir los elementos que explican la decisión de una empresa para interactuar con otra(s). Es decir, el proceso de coordinar el uso de los recursos disponibles y las habilidades de las empresas para garantizar interacciones e intercambios que propicien su adaptación y supervivencia dentro de un sistema.

Los objetivos de esta cooperación a través de una bolsa de subproductos serían: reducir la cantidad de residuos generados por las empresas y costos de fabricación, y aumentar su competitividad para obtener ventajas en términos de flexibilidad, productividad y optimización de recursos.

La capacidad de las organizaciones para integrar redes y movilizar, tanto conocimiento como materiales, son elementos que ayudan a entender la naturaleza de las redes y los alcances de las mismas. Si se analiza el inicio de un proyecto colectivo o una innovación de cualquier tipo como la sucesión de adaptaciones por parte de los actores, se hace necesaria para la mediación eficaz entre los flujos la existencia de un nodo en la red.

De la modelización empresarial, que fue propuesta del modelo lineal de innovación para la vinculación, se pasa al modelo intensivo en conocimiento que requiere de cooperación e interrelaciones entre privados e incluso con el sector público para construir las prioridades estratégicas del país, la formación de recursos humanos y la definición de prioridades regionales.

La noción de redes es de gran ayuda metodológica para entender los procesos en los cambios que se generan por nuevas formas de producción, de conocimiento y de organización, donde la ciencia y la tecnología ya no se conciben más como procesos separados, sino que se complementan, a ello se suma al aprendizaje como un proceso dinámico y las organizaciones como sistemas, el concepto de red ayuda a entender cómo se generan esas interacciones que permiten el aprendizaje colectivo a partir de la experiencia del intercambio.

[En este enfoque] las empresas deben aprender a sobrevivir y a crecer apropiándose de los recursos que existen en el ambiente e internalizándolos de

una forma eficiente (selección natural darwiniana). Pero al mismo tiempo, para aprender a adaptarse a las variaciones del medio ambiente adverso, incierto y complejo (aprendizaje lamarkiano), tienen la alternativa de vincularse con otras empresas para responder a los cambios del entorno aprovechando las capacidades individuales y colectivas (aprendizaje vía coevolución) (Lara, 2000).

Tipos de bolsa de subproducto

De acuerdo con el grado de intervención de la entidad que maneja la bolsa en el proceso de intercambio, se distinguen tres tipos de bolsas de subproductos industriales:

- Intercambio pasivo de información.
- Intercambio activo de información.
- Intermediación en la transferencia de materiales.

En el primer tipo, la entidad titular se limita a publicar en sus boletines las ofertas o demanda de productos, sin intervenir en el mercado de otros posibles intercambios. Es el tipo más extendido en Europa y actualmente se adopta en Estados Unidos y Canadá.

En el tipo de intercambio activo, la entidad gestora o Bolsa toma un papel entre los generadores y los posibles usuarios de los residuos. Éstos especifican los residuos en los que estarían interesados y la Bolsa le envía periódicamente las ofertas de su posible interés. En este caso se requiere una gran intervención del equipo técnico de la Bolsa, en el análisis, clasificación y distribución de los anuncios.

En la intermediación, como etapa posterior a la de información y generación del intercambio o la intermediación para que se produzca el movimiento de materiales. Se tiene un proceso de asesoramiento para el manejo o tratamiento de materiales previo o posterior al intercambio, además que ofrece capacitaciones diversas sobre el mismo tema.

La bolsa de subproductos, en su explicación más simple, es un mercado virtual donde se ofertan y demandan subproductos, en el cual se cumple con estrictos estándares de confidencialidad. Actualmente se trabajan con portales en la web donde se realizan la difusión e intercambios, pero inicialmente se difundía

por medio de boletines; algunas de las bolsas que se estudiaron trabajan las dos opciones dependiendo las características de la región.

Mercado de las bolsas de subproductos

En este modelo de intercambio se comercializan distintos tipos de materiales; el objetivo desde la perspectiva de la EI es que se originen al término de un proceso productivo, los materiales que son comúnmente intercambiados, se clasifican en:

- Subproductos químicos
- Productos plásticos
- Metales
- Papel y cartón
- Maderas
- Textiles
- Goma y caucho
- Vidrio
- Cuero y pieles
- Escombros y minería
- Residuos animales y vegetales
- Productos petrolíferos y aceites
- Chatarra y escoria de siderurgia
- Envases y embalajes

Estos subproductos son clasificados independientemente por cada país; en el caso de México se tiene una clasificación normada que separa los materiales dependiendo su origen y peligrosidad. La Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos, publicada en el 2012, señala:

[...] se agrupará y subclasificará a los residuos peligrosos, sólidos urbanos y de manejo especial en categorías, con el propósito de elaborar los inventarios correspondientes, y orientar la toma de decisiones basada en criterios de riesgo y en el manejo de los mismos. La subclasificación de los residuos deberá atender a la necesidad de:

- I. Proporcionar a los generadores o a quienes manejan o disponen finalmente de los residuos, indicaciones acerca del estado físico y propiedades o características inherentes, que permitan anticipar su comportamiento en el ambiente.
- II. Dar a conocer la relación existente entre las características físicas, químicas o biológicas inherentes a los residuos, y la posibilidad de que ocasionen o puedan ocasionar efectos adversos a la salud, al ambiente o a los bienes, en función de sus volúmenes, sus formas de manejo y la exposición que de éste se derive. Para tal efecto, se considerará la presencia en los residuos, de sustancias peligrosas o agentes infecciosos que puedan ser liberados durante su manejo y disposición final, así como la vulnerabilidad de los seres humanos o de los ecosistemas que puedan verse expuestos a ellos.
- III. Identificar las fuentes generadoras, los diferentes tipos de residuos, los distintos materiales que constituyen los residuos y los aspectos relacionados con los mercados de los materiales reciclables o reciclados, entre otros, para orientar a los responsables del manejo integral de residuos.
- IV. Identificar las fuentes generadoras de los residuos cuya disposición final pueda provocar salinización e incrementos excesivos de carga orgánica en suelos y cuerpos de agua (LGEEPA, artículo 15).

Parte fundamental del cambio de paradigma, para el funcionamiento de una conjunto de empresas, es necesario modificar la visión que se tiene de los residuos, pasando de la transformación del concepto de basura a subproducto, dando la connotación de “producto”.¹

La definición de residuos comúnmente llamados “basura”, se encuentra estipulada en la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos, en la cual se establece que un residuo es un “material o producto cuyo propietario o poseedor desecha y que se encuentra en estado sólido o semisólido, o es un líquido o gas contenido en recipientes o depósitos, y que puede ser susceptible de ser valorizado o requiere sujetarse a tratamiento o disposición final conforme a lo dispuesto en esta Ley y demás ordenamientos que de ella deriven” (2012:6), según esta misma ley los residuos se clasifican en cuatro tipos:

¹ Un material se vuelve útil para la producción; en los siguientes apartados se puntualizará cómo es que se clasifican y valorizan los tipos de residuos y la diferencia con los subproductos.

1. *Residuos sólidos urbanos*: los generados en las casas habitación, que resultan de la eliminación de los materiales que utilizan en sus actividades domésticas, de los productos que consumen y de sus envases, embalajes o empaques; los residuos que provienen de cualquier otra actividad dentro de establecimientos o en la vía pública que genere residuos con características domiciliarias, y los resultantes de la limpieza de las vías y lugares públicos, siempre que no sean considerados por esta Ley como residuos de otra índole
2. *Residuos peligrosos*: son aquellos que posean alguna de las características de corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad, inflamabilidad, o que contengan agentes infecciosos que les confieran peligrosidad, así como envases, recipientes, embalajes y suelos que hayan sido contaminados cuando se transfieran a otro sitio, de conformidad con lo que se establece en esta Ley.
3. *Residuos incompatibles*: aquellos que al entrar en contacto o al ser mezclados con agua u otros materiales o residuos, reaccionan produciendo calor, presión, fuego, partículas, gases o vapores dañinos.
4. *Residuos de manejo especial*: son aquellos generados en los procesos productivos, que no reúnen las características para ser considerados como peligrosos o como residuos sólidos urbanos, o que son producidos por grandes generadores de residuos sólidos urbanos.

Dentro de los residuos de manejo especial podemos encontrar otra clasificación de carácter internacional nombrada subproducto, este término propone el cambio de visión de los residuos y valorarlos como posibles insumos en un proceso productivo.

En los lineamientos de las bolsas de subproductos españolas, los subproductos se definen como:

[...] material o sustancia obtenida en un proceso de producción industrial, de transformación o de consumo al cual la empresa productora no le encuentra utilidad y por lo tanto es gestionado como residuo y que, sin embargo, sí puede ser utilizado como materia prima o auxiliar en otro proceso productivo distinto, sin someterse previamente a una operación de tratamiento significativa y sin poner en peligro la salud humana ni causar perjuicios al medio ambiente (Bolsa de subproducto de Castilla y León, 2012).

Beneficios de aprovechamiento de residuos

El aprovechamiento material tiene un impacto ambiental positivo por dos razones: la disminución de extracción de material virgen del medio y la disminución de contaminación en el proceso productivo de material virgen; por ejemplo, en el caso de los metales, una tonelada métrica de hoja de lata recuperada ahorra 1 134 kg de mineral de hierro, 435 kg de carbón y 18 kg de caliza, al tiempo que se consume 75% menos de energía fabricando acero a partir de acero recuperado. Por otra parte, una tonelada de aluminio de hierro recuperada ahorra 4.5 toneladas de bauxita (roca sedimentaria, cuyo tratamiento para obtener el metal consume mucha energía), 1.3 toneladas de carbón y energía eléctrica y se consume 75% menos de energía fabricando acero a partir de acero recuperado. El aluminio se puede reciclar una y otra vez, utilizando el aluminio reciclado se economiza hasta 95% de la energía para fabricar latas nuevas.

Otro material es el vidrio, en este caso para su producción se usa arena, piedra caliza y carbonato de sodio. Se usan 1 240 kg de materias primas por Tm de vidrio producido. Reciclando tres mil botellas se ahorra 1Tm de materias primas y 130 kg de combustible al necesitar menos temperatura al fundirse, disminuye el impacto ambiental que produce su extracción. Actualmente para producir vidrio se utiliza 50% de recursos naturales y 50% de casco, que es vidrio reciclado.

Evolución de las bolsas de subproductos

En la actualidad están operando bolsas de subproductos, en Alemania, Francia, Países Escandinavos, Gran Bretaña, Luxemburgo, Italia, Bélgica, Estados Unidos, Canadá, Costa Rica, Perú, Colombia, Ecuador, Guatemala, El Salvador, Belice , Honduras, Nicaragua, Panamá, República Dominicana, Chile y Argentina.

La historia de las bolsas industriales data de 1939 durante la Segunda Guerra Mundial, cuando en países como Estados Unidos, Canadá e Inglaterra se utilizó como estrategia para conservar materias primas y recursos. Posteriormente a la guerra hubo un periodo en el que se detuvo la operación (Fuentes y Saavedra, 2006).

Como una forma de apoyar a la reutilización de los residuos aprovechables, surgieron nuevamente las bolsas de subproductos a inicios de la década de 1970 en diferentes países, a partir de la coordinación de agrupaciones empresariales que tomaron la iniciativa de crear bolsas verticales o específicas de un solo grupo de productos con el fin de obtener un beneficio empresarial y minimizar las pérdidas.

Ante el éxito de estas iniciativas, se crearon bolsas horizontales, es decir, donde se gestionaban todo tipo de residuos. Estas bolsas han sido lideradas por las cámaras de comercio y de industria en varios países.

Las primeras bolsas fueron gestionadas por los organismos o asociaciones empresariales, quienes aseguraban el carácter confidencial del anunciante. Este es el caso de la Bolsa de la Federación de la Industria Belga y de la Asociación de Industrias Químicas de los Países Bajos y la Bolsa de Remanentes Químicos española gestionada por FEIQUE. Posteriormente, y como consecuencia de ampliar el marco de acción de las Bolsas a varios sectores de actividad empresarial, la titularidad de la Bolsa la empezaron a ejercer en todo el mundo las cámaras de comercio. Con excepción de la Bolsa inglesa y la canadiense, gestionadas por la propia administración ambiental.

Durante esa misma década se desarrollaron diversas bolsas en países como Alemania, Dinamarca, Noruega, Suecia y Finlandia en la región europea, en varios estados de la Unión Americana y Canadá. A finales de la década Nueva Zelanda y Austria generaron sus bolsas impulsando a países como Unión Soviética, Europa del este, China e incluso México (Fuentes y Saavedra, 2006).

En un estudio realizado en 2002 por el Instituto de Promoción de Desarrollo Sostenible, se lograron identificar 137 bolsas de residuos, distribuidas en 27 países, ubicadas principalmente en Europa (41%) y en América (33%) y, en menor proporción en Asia (15%), Oceanía (7%) y África (4%) (IPES, 2002).

Las bolsas españolas

Ha sido en España donde se encuentran los casos más exitosos de implementación de bolsas de subproductos en el mundo, según la cámara de industriales de ese país se ha atendido una demanda creciente cada año desde su creación, resultando en una disminución de los desechos industriales y a la facilitación del reciclaje

de los mismos, actualmente operan 19 bolsas en diferentes regiones de dicha nación:

Bolsa de Alava	Bolsa de Alicante
Bolsa de Andalucía	Bolsa de Aragón
Bolsa de Asturias	Bolsa de Canarias
Bolsa de Bilbao	Bolsa de Canarias
Bolsa de Cantabri	Bolsa de Castilla La Mancha
Bolsa de Cataluña	Bolsa Centro
Bolsa de Galicia	Bolsa de Guipuzcao
Bolsa de Rioja	Bolsa de Mallorca
Bolsa de Navarra	Bolsa de la Región de Murcia
Bolsa de la Comunidad Valencia	

Las bolsas españolas son operadas por las cámaras comercio regionales de donde están ubicadas; el control y coordinación general corre a cargo del Consejo Superior de Cámaras de Comercio, Industria y Navegación de España que funge en este caso como máximo propulsor de la misma.

Las bolsas españolas trabajan con un modelo de intercambio pasivo, el cual funciona con base en una red de portales en internet interconectados donde se publican las ofertas y demandas de residuos, para luego de un registro puedan ser visualizadas por todos los interesados.

El caso de América Latina

En la región de Centro y Sudamérica en la actualidad se encuentran laborando 18 bolsas de subproductos operando en 12 países, además de dos más en construcción.

CUADRO 1
Bolsas de subproductos de América del Sur

País	Sede	Operador
Perú	Bolsa de Residuos IPES	IPES
	Bolsa de Residuos Norte	Universidad Católica Santo Torbio de Mogrovejo
	Bolsa del Sur	Centro de Servicios Empresariales
Colombia	Bolsa del CRPML	CRPML Corporación Mixta
	Bolsa de Residuos y Subproductos Industriales	CRPML Corporación Mixta
	Bolsa de Residuos de Cundinamarca	Cámara de Comercio de Bogotá con apoyo de CRPML
	Bolsa de Residuos del Oriente Antioqueño	Corporación Empresarial del Oriente Antioqueño
Ecuador	Bolsa de Residuos de Quito	Cámara de industrias y producción
	Bolsa de Residuos y Subproductos Industriales de Guayaquil	Cámara de industrias de Guayaquil
Costa Rica	Mercado de Residuos y Subproductos Industriales de Costa Rica	Cámara de industrias de Costa Rica
Costa Rica Belice El Salvador Guatemala Honduras Nicaragua Panamá Rep. Dominicana	Todas usan el nombre de Bolsa de Residuos Industriales de Centroamérica y El Caribe con la especificación del país sede.	En cada país hay una oficina sede desde donde se controla
Chile	Bolsa de Residuos Industriales	BRISA, SA
Chile	Proyecto de Gestión de Residuos con bolsa	Residuos
Argentina	S/N	INTI-Rafaela

Fuente: elaboración propia.

Modelos de bolsas de subproductos

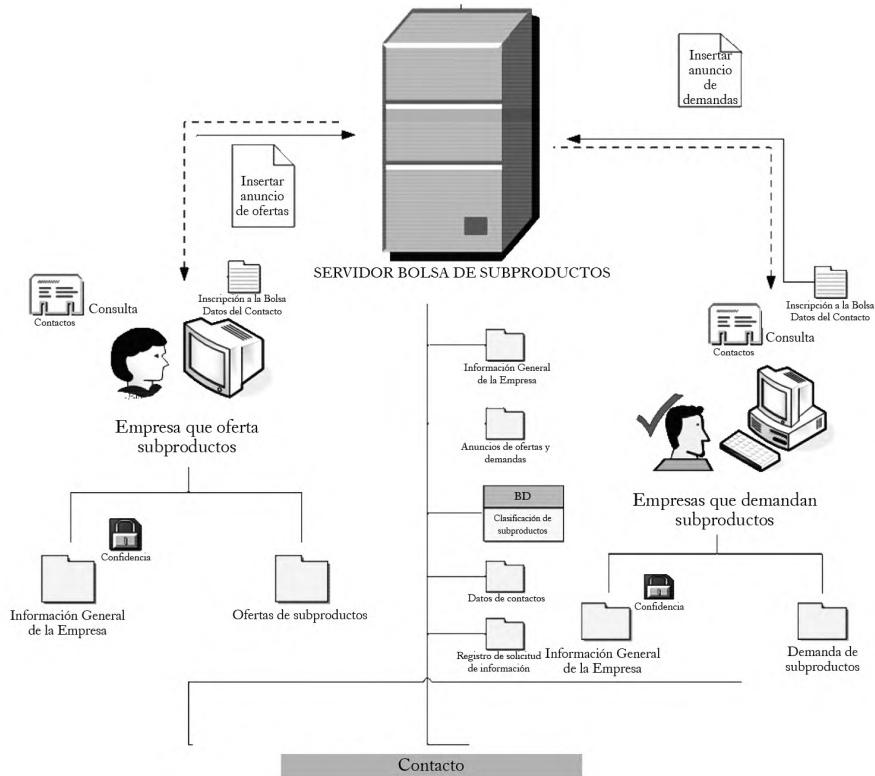
Las bolsas de subproductos operan con base en la publicación de anuncios de ofertas y demandas de residuos y subproductos industriales, a las cuales puede acceder cualquier interesado en anunciar o en solicitar información. Es un sistema confidencial, puesto que sólo los administradores de las bolsas conocen la identidad del anunciante y del interesado en información y se publican los datos de manera codificada. Sólo cuando se abre la posibilidad de la transacción, se comunica al anunciante los datos de quien solicita la información, para que lo contacte directamente, verifique su identidad y realicen la transacción, aunque el modelo es el mismo, los esquemas de intercambio son diferentes.

- a) *El intercambio pasivo.* En este modelo se utiliza un sistema o interfaz de internet, los administradores se limitan al manejo y facilitación de información al mercado, en este caso además de contar con el portal de internet para registrar demandas y ofertas se pueden hacer intercambios a través del llenado de una solicitud impresa en las oficinas de operación de cada país (Figura 2).
- b) *El intercambio activo.* Los administradores participan en algunos casos como gestores, además de que se prestan servicios adicionales como la implementación de sistemas de gestión de residuos, de reciclaje y auditorías, entre otros. En el caso de que un anuncio no tenga éxito, en un periodo determinado, los administradores realizan una labor de mercado con la finalidad de que el producto sea comercializado lo que lo convertiría, en estos casos, en un modelo activo, por lo que lo podemos denominar mixto.

Factores clave para la formación de una bolsa de subproductos

En el estudio de estos casos podemos encontrar diferentes factores que han impulsado o favorecido el buen funcionamiento de las bolsas, algunos de ellos correspondientes a su zona de operación, pero que al final dan una idea de las buenas prácticas para implementar una estrategia como ésta.

FIGURA 2
Esquema de funcionamiento de una bolsa de intercambio activo



Fuente: elaboración propia.

Vinculación con organizaciones internacionales

En todos los casos las bolsas mantienen la relación con organismos que tienen mayor experiencia en los temas de manejo responsable de residuos, los cuales han transmitido tanto el *know how* como las experiencias para que las nuevas bolsas se desarrollen con mayor fortaleza, incluyendo la selección de un modelo de intercambio, de operación y de administración.

La institución con mayor presencia son los centros de producción más limpia, cabe resaltar que en el caso de América ha sido de vital importancia la

participación de los Centros Nacionales de Producción Más Limpia (CRML), que han fomentado la creación de las bolsas BORSI y BOSRSICCA, además de que en algunos casos en sus oficinas regionales también recae la responsabilidad de operación siendo junto con las oficinas de las cámaras industriales regionales las más utilizadas para esta labor sin eximir que también existen casos de participaciones de oficinas de empresas privadas y universidades, como se puede ver en el Cuadro 1.

Apoyo y patrocinios

En los casos de Sudamérica ha resultado trascendente la suma de esfuerzos de diversas organizaciones de carácter público y privado para la puesta en marcha de las bolsas de subproductos, incluso de organizaciones internacionales de diferente índole; aportando conocimiento, experiencias y patrocinios, lo cual ha fortalecido estos proyectos y ha contribuido para el éxito de los mismos.

Cabe mencionar que los apoyos son destinados principalmente para la operación y difusión de las bolsas en la etapa inicial. En la Figura 3 podemos ver algunos de los patrocinadores.

Legislación

En el ámbito legal, en todos los países en los que opera alguna Bolsa existen leyes relacionadas con el manejo de residuos o gestión de éstos; incluso en algunos casos como Perú, se tiene la siguiente mención específica del tema: “la bolsa de residuos tiene como objetivo reunir y difundir información para incentivar el crecimiento y dinamismo del mercado de residuos y subproductos, bajo un enfoque de prevención de la contaminación, mejora continua y cumplimiento de normas y leyes”; en el Cuadro 2 se muestran algunas leyes relacionadas con las bolsas de subproductos de diferentes países.

FIGURA 3

Organizaciones que apoyan o patrocinan las bolsas de América del Sur



Fuente: elaboración propia

Conclusiones

La ecología industrial es un área de conocimiento interdisciplinaria, la cual intenta asemejar el funcionamiento de la industria a los ecosistemas naturales, a partir de la interacción entre industrias, el medio social y el natural, con el propósito de cerrar el ciclo de materiales y así obtener un nivel cero de residuos. La EI se sirve de herramientas y métodos que contribuyen a disminuir el impacto ambiental y aumentan la rentabilidad en las industrias, como el mercado o bolsa de subproductos.

Las bolsas de subproductos sin duda son una estrategia viable para el manejo de residuos que se destaca por el carácter integral y de vinculación entre las empresas que abre la posibilidad de acrecentar el ciclo de vida de los productos.

En la revisión de los casos fue posible observar factores de éxito para las bolsas, se identificó que tanto en los casos de América Latina y España ha sido trascendente la colaboración entre cámaras comerciales y organizaciones con interés

CUADRO 2
Leyes relacionadas a la bolsa de subproducto

Países	Leyes
	Resolución 2309 de 1986 Ley 430 de 1998 Decreto 1609 de 2002 Resolución 1188 de 2003
Colombia	Resolución 189 de 1994 Ley 253 de 1996 Ley 357 de 1997 Manual de procedimiento para la gestión integral de residuos hospitalarios y similares de Colombia Decreto 4741 de 2005
Ecuador	Ley de Gestión Ambiental Reglamento a Ley de Fomento Ambiental
	Legislación ambiental secundaria Ordenanza 213 “prevención y control del medio ambiente”
Perú	Norma técnica de ordenanza 213 Ley de gestión ambiental Ley 27314 Aprovechamiento de residuos
Guatemala	Política de desechos sólidos Acuerdo Gubernativo 111-2005 Tratamiento ambiental de Guatemala
Honduras	Ley de medio ambiente de Honduras
Nicaragua	Ley de medio ambiente de Nicaragua
Salvador	Ley de medio ambiente de el Salvador
Costa Rica	Ley para la gestión integral de residuos redacción final Ley GIR
	Ley 10/1998, de 21 de abril, de Residuos (BOE 22 de abril de 1998).
España	Ley 11/1997, de 24 de abril, de envases y residuos de envases (BOE 25 de abril de 1997). Ley 16/2002, de 1 de julio de Prevención y Control Integrados de la Contaminación (BOE 2 julio 2002 y BOE 12 de mayo 2002).

Fuente: elaboración propia.

en la mejora ambiental. Es claro que si estas instituciones no se conjuntaran, no sería posible el funcionamiento de las bolsas, ya que el modelo funciona desde la lógica empresarial y los beneficios económicos son incentivos para las firmas, al mismo tiempo que se podrían generar beneficios ambientales.

De igual forma fue posible identificar a los patrocinadores como propulsores, ya que al inicio es necesario contar con fondos para arrancar labores; por último, es común que en los países donde se ha tenido este tipo de iniciativas se cuente con normativas que refieren al tratamiento de los residuos e incluso en algunos casos se menciona en específico a las bolsas de subproductos como método para el manejo de los residuos, de tal manera que se evidenció como un factor importante.

En el caso de México, la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR), publicada en 2012, señala en su artículo 1, el Objeto y Ámbito de Aplicación de la Ley: “fomentar la valorización de residuos, así como el desarrollo de mercados de subproductos, bajo criterios de eficiencia ambiental, tecnológica y económica, y esquemas de financiamiento adecuados”, este planteamiento en la ley da elementos para avanzar en este tema en el país. Otro factor determinante para el establecimiento de las Bolsas, es desarrollar propuestas basadas en un sistema de cooperación, con el objetivo de coordinar el uso de los recursos disponibles y las habilidades de las empresas para garantizar interacciones e intercambios que propicien su adaptación y supervivencia dentro de un sistema.

Bibliografía

- Ayres, R. y Ayres I. (2001), *A Handbook for Industrial Ecology*, Northampton, Edward Elgar.
- Centro Nacional del Medio Ambiente (Cenma) (1999), *Estudio de factibilidad de una bolsa de residuos de origen industrial*, Santiago.
- Carrillo, G. (2004), “Ecología industrial y criterios de interacción”, en Fernández y Saleme (comps.), *Dimensión social y humana del crecimiento económico*, México, UAM-Xochimilco.
- Cervantes Torre-Marín, G., Sosa Granados, R., Rodríguez Herrera, G. y Robles Martínez, F. (2009), “Ecología industrial y desarrollo sustentable”, *Ingeniería*, Revista Académica de la FI-UADY, 13(1), pp. 63-70.

- Congreso Nacional de Medio Ambiente (Conama) (2005), *Política de gestión integral de residuos sólidos*, Santiago.
- Cortinas, C. (2003), *Manual 3. Valorización de residuos. Participación social e innovación en su gestión*, Serie de Manuales para regular los residuos con sentido común, México, Cámara de Diputados, LXVIII Legislatura.
- (s/f), “Aspectos coyunturales sobre las 3R y otras Rs” [www.cristinacortinas.net].
- Elias, X. (2000), *Reciclaje de residuos industriales*, Madrid, Díaz Santos.
- Fuentes, C. y Saavedra, P. (2006), *Modelo de implementación de un sistema de intercambio de residuos industriales, bolsa de residuos industriales de la comuna de Pudahuel*.
- Frosch R., Gallopoulos N. (1989), “Strategies for manufacturing”, *Scientific American*, 261(3), pp. 144-152.
- Graedel, T.E. y Allenby, B.R. (1995), *Industrial Ecology*, Nueva Jersey, Prentice Hall.
- IPES (2002), *Mecanismos para el funcionamiento de una bolsa de residuos como un aporte a la gestión ambiental de residuos*, Lima.
- Jelinski, L.W., T.E. Graedel *et al.* (1991), “Industrial Ecology: concepts and approaches”, paper, which were presented at a colloquium entitled *Industrial Ecology*, organized by C. Kumar N. Patel, held May 20 and 21, 1991, at the National Academy of Sciences, Washington, DC, vol. 89, February 1992, pp. 793-797.
- Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (2012), Última Reforma DOF 30-05-2012, Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión [http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/263.pdf].
- Lara, Arturo (2000), “Proveedor exclusivo, aprendizaje tecnológico y clusters”, México, Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco (mimeo).
- Lara, A., García, A. y Trujano, G. (2004), “El cluster automatiz en el Estado de México. Retos y oportunidades”, *Región y Sociedad*, 16(31).
- Martínez Alíer, J. (2003), “Ecología industrial y metabolismo socioeconómico: concepto y evolución histórica”, *Economía industrial*, 3(351), pp. 16-26.
- Martínez, Allier y J. Roca (2001), *Economía ecológica y política ambiental*, México, FCE/PNUM.
- Wallerstein, Immanuel (2012), “Austeridad: ¿y para quién es el costo?”, traducción Ramón Vera Herrera, *La Jornada*, México, 22 de diciembre.

Páginas electrónicas

Semarnat [http://www.semarnat.gob.mx/informacionambiental/documents/sniarn/pdf/yelmedioambiente/version_2008/1_impacto_humano_v08.pdf], fecha de consulta: 24 de febrero de 2013.

La Jornada [<http://www.jornada.unam.mx/2012/12/22/index.php?section=opinion&article=023a1mun>], fecha de consulta: 24 de febrero de 2013.

[www.borsi.org], consultado el 24 de febrero de 2013.

[www.borsicca.com], fecha de consulta: 24 de febrero de 2013.

[www.bolsacyl.com], fecha de consulta: 24 de febrero de 2013.

[www.subproductos.com/eBSPWEB], fecha de consulta: 24 de febrero de 2013.

[www.camaras.org/publicado/mambiente/legis_779.html], fecha de consulta: 24 de febrero de 2013.

CAPÍTULO XII

La ecología industrial en México: logros, retos y perspectivas

Gemma Cervantes Torre-Marín
Dolores Elizabeth Turcott Cervantes

Se podría considerar que la ecología industrial (EI) inicia en México en 1997 con el proyecto “Sinergia de subproductos” en Tampico (WBCSD, 1999). Mientras el éxito de este ejemplo era difundido por todo el mundo a partir de las conferencias y artículos de Ed Cohen-Rosenthal –gran ecologista industrial– y de foros como los organizados por la International Society for Industrial Ecology (ISIE, 2012), en México no se difundió la experiencia y apenas se conoció de ella. La EI en México quedó por unos años en letargo hasta que la profesora Graciela Carrillo de la Universidad Autónoma Metropolitana recuperó el tema de la EI para realizar su tesis de doctorado en la Universitat de Barcelona. La presentación de esta tesis doctoral en 2006 es un punto de inflexión en el camino de la EI en México. En 2006 también se incorpora el Instituto Politécnico Nacional a la difusión de la EI mediante un proyecto para detectar oportunidades e identificar sinergias con el fin de introducir la EI en México, el trabajo de este grupo culminó con la primera Jornada Ecoindustrial en México. A partir de ese año, la EI empieza a extenderse, aunque lentamente, y surgen diferentes iniciativas y diferentes actores que continúan creciendo hoy en día.

La EI en México es muy joven y tiene muchos retos y grandes perspectivas. En este capítulo se describirán los logros alcanzados hasta la actualidad, los retos que se presentan y las perspectivas de futuro.

Logros de la ecología industrial en México

Podemos considerar que uno de los mayores logros que un país puede tener en relación con la EI es disponer de ejemplos que muestren en la práctica la implementación de estrategias y acciones vinculadas a esta materia.

Experiencias

En México existen diversas experiencias de reciclaje y de intercambio o recuperación de residuos en actividades productivas, sin embargo, al tratar de ubicar casos explícitos de EI los ejemplos son limitados. Uno de ellos, que inició en 1997 y a la fecha continúa activo, es el Corredor Industrial de Tampico-Altamira; otro ejemplo que inició y terminó en un breve lapso de dos años fue el National Industrial Symbiosis Programme (NISP) con acciones en el Estado de México; otro ejemplo que aún no ha sido identificado como tal pero que puede tener las características de una simbiosis industrial, es el de la comunidad de San Juan Nuevo Parangaricutiro.

La sinergia de subproductos en el corredor industrial Tampico-Altamira

El ejemplo del corredor industrial de Tampico-Altamira se describe en detalle en el capítulo 7. Por tanto, en el presente capítulo únicamente se resumen los principales logros.

Las claves del éxito de esta experiencia fueron: al momento de iniciar el proyecto, el apoyo del World Business Council for Sustainable Development (WBCSD, 2010); la existencia de la Asociación de Industriales del Sur de Tamaulipas (AISTAC), la cual aglutinaba a la mayor parte de las empresas del corredor industrial; la existencia de líderes comprometidos y carismáticos; y la comunicación y confianza que ya prevalecía entre los participantes debido a que se habían generado lazos de colaboración desde la década de 1980.

El logro más importantes de esta experiencia ha sido involucrar a la comunidad en la vigilancia del comportamiento ambiental de las empresas, lo que permitió desaparecer las reticencias y quejas de las comunidades cercanas. Otro es el

impulso vivo y constante de la AISTAC y de sus comisiones, especialmente de la de ecología. Por otro lado, han conseguido mantener vivo el ejemplo ecoindustrial, de manera dinámica, con sinergias que se crean y otras que desaparecen, tal como pasa en los sistemas vivos.

Asimismo, lograron crear en el sistema ecoindustrial la adaptación y evolución, dos criterios clave para la supervivencia de un ecosistema. Otro logro importante fue crear y mantener la confianza entre las personas de las diferentes empresas, a pesar de ser empresas competidoras. También se consiguió un equilibrio entre cooperación y competencia, difícil de alcanzar. Un logro más de suma importancia es haberse mantenido durante 15 años (1997-2012) y continuar adelante con las sinergias entre empresas.

El National Industrial Symbiosis Programme en Lerma, Estado de México

El National Industrial Symbiosis Programme (NISP) es creado en el Reino Unido en 2003, y llega a México en el 2005 con el financiamiento del Departamento de Medio Ambiente, Alimentación y Asuntos Rurales (Defra), perteneciente a la Embajada del Reino Unido. En México estuvo auspiciado por la Confederación Nacional de Cámaras de la Industria (Concamin), el Gobierno del Estado de México, la colaboración de la Comisión de Estudios del Sector Privado del Consejo Coordinador Empresarial (Cespedes), la Asociación de Industriales del Estado de México (AIEM), la Cámara Nacional de la Industria de la Transformación (Canacintra) y el Instituto Politécnico Nacional (IPN). Se localizó en la zona industrial de Lerma, Estado de México, donde promovió intercambios entre empresas, de acuerdo con su propia metodología del National Industrial Symbiosis Programme.

En el tiempo que estuvo activo consiguió establecer casi 50 sinergias entre empresas (Concamin, 2009). Desafortunadamente, la falta de apoyo financiero por parte del Estado de México, comprometido a financiar el proyecto a los dos años de su inicio, hizo que esta iniciativa finalizara a fines de 2009.

A pesar de que el proyecto fracasara en México, se pueden extraer aprendizajes de su fracaso, que ayuden a promover la EI en México. Una enseñanza importante es no depender exclusivamente del financiamiento de otros países; otro aspecto fundamental es que para cualquier metodología que se decida aplicar es necesario

adaptarla a las condiciones, la situación y la idiosincrasia del país, y no únicamente traspassarla tal como se desarrolla en el país de origen. También es necesario que las directrices sean determinadas por las personas involucradas en los ejemplos y que no se dependa de decisiones que se toman en otro país.

La comunidad indígena de San Juan Nuevo Parangaricutiro, Michoacán

Esta comunidad existe desde 1715. Sufrieron la erupción del volcán Parícutín en 1943, por lo que tuvieron que mover la comunidad a otro lugar, denominándolo San Juan Nuevo Parangaricutiro. Sus habitantes son indígenas purépechas. Para 1990 eran 1 229 comuneros y sus familias.

La comunidad posee 18 138 hectáreas, cerca de 61% están cubiertas de un bosque de coníferas, que fue explotado irresponsablemente por empresas extranjeras y nacionales durante más de 30 años. Ya para 1981, la comunidad—al ver el deplorable estado de su bosque y de sus propias condiciones socioeconómicas—empieza a ejercer sus derechos y explotar ellos mismos el bosque sin la intervención de terceros. Para 1983 eran poseedores del aserradero y generaron 230 empleos. Actualmente se generan más de 900 empleos (Comunidad indígena, 2011 y Garibay, s/f).

La empresa forestal que actualmente posee la comunidad, tiene la reputación de ser una de las iniciativas más exitosas de manejo forestal comunitario en México (FSC, 2000). Actualmente poseen en total cerca de 20 empresas, donde promueven diferentes sinergias a partir de sus residuos y subproductos, tanto al interior de sus empresas, como con importantes empresas al exterior (Scribe, Allen de México, entre otras).

Aunque aún no se han estudiado y documentado todas las sinergias generadas por las empresas de la comunidad, se calcula que son más de 10 y continúan en aumento. Se aprovecha de 80 mil a 100 mil m³/año de madera, la gente de la comunidad considera que de cada árbol cortado se hace un aprovechamiento de 90 a 98%. Cada empresa de la comunidad funciona como un eslabón en la cadena de aprovechamiento de esa madera y, como se dijo antes, bajo esa lógica opera en analogía con un ecosistema, donde nada se desperdicia.

El desarrollo de toda esta industria ha beneficiado enormemente a la comunidad, su impacto social, económico y ambiental es más que evidente, tal como se menciona el PNUD (Iniciativa ecuatorial 2004) citado por Garibay (s/f):

Durante más de veinte años la comunidad ha mantenido una amplia gama de eco-empresas exitosas basada en la silvicultura sustentable, la creación de productos de madera eco-amigables, ecoturismo, agrosilvicultura y manejo de fauna silvestre [...] han proporcionado un impulso a los ingresos locales a la vez que asegurando la base de recursos del que la comunidad depende para el sostenimiento de las generaciones futuras.

La diferencia con otros ejemplos de EI en México, es que al tratarse de una comunidad indígena, su prioridad es el componente social, aunque sin dejar de lado el económico y el ambiental, lo que los convierte en un ejemplo interesante de la aplicación de la EI con la meta de lograr un desarrollo sustentable a mediano plazo.

Grupos y proyectos de investigación

Actualmente cinco grupos de investigación en México desarrollan proyectos de investigación en ecología industrial.

Grupo AGSEO-UAM-Xochimilco

El grupo de ecología industrial de la UAM-Xochimilco se conforma en el 2008 a partir de la aprobación del proyecto de ciencia básica “Factores determinantes de la ecología industrial en un sistema complejo. El caso del corredor industrial Altamira-Tampico y el Parque Industrial Toluca 2000”, en el que participa una profesora de tiempo completo, dos profesores de tiempo parcial y varios alumnos de distintas maestrías y de la licenciatura de administración de UAM-Xochimilco.

Con los fondos provistos por el Consejo Nacional de Ciencias y Tecnología (Conacyt) se ha realizado trabajo de campo en Tamaulipas y el Estado de México, dando como resultado varios artículos publicados en libros y revistas nacionales,

uno en una revista internacional, varias participaciones con ponencias en eventos nacionales e internacionales y han surgido del trabajo de estudiantes tres tesis de posgrado de la Maestría en Economía y Gestión de la Innovación y una a nivel licenciatura del IPN en ingeniería en biotecnología. En el 2010 se incorpora a la conformación de la Red Mexicana de Ecología Industrial (Remei) junto con otras cinco instituciones (Carrillo, 2012).

Grupo de Investigación en Ecología Industrial, GIEI-IPN

En el 2007 se creó el Grupo de Investigación en Ecología Industrial (GIEI) (GIEI, 2012), dentro de la Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología del IPN. El grupo GIEI ha desarrollado proyectos de EI en dos sistemas agropecuarios, el de Xochimancas en 2008, en el Distrito Federal y el de Tóchtli en 2009, en el Estado de México. Desde 2009 colaboró con el grupo AGSEO para llevar a cabo el proyecto de EI en el Corredor Industrial de Altamira-Tampico y el Valle de Toluca.

También se aplicó la EI en sistemas de gestión de residuos sólidos urbanos (RSU), en 2011, a través de un proyecto cuyo objetivo fue elaborar el diagnóstico de las redes que permiten la gestión de los RSU del Valle de México. También se desarrollaron proyectos de EI en empresas biotecnológicas, en corredores industriales, como el de Tamaulipas y en otras industrias. Actualmente se lleva a cabo un proyecto de aplicación de la EI en la producción de biocombustibles a partir de algas.

En el grupo GIEI se trabaja en colaboración con gobiernos, con empresas y con otras universidades y centros de investigación nacionales e internacionales y también en proyectos de investigación con financiación externa (Conacyt, Unión Europea, Instituto de Ciencia y Tecnología del Distrito Federal, etcétera). Se tiene presencia en los principales foros ambientales de México y en los de EI a escala internacional.

El grupo GIEI ha organizado cursos para la formación de promotores de la EI en 2006 y 2007 y cursos de herramientas de EI en 2009 y 2010. El grupo GIEI fue uno de los creadores de la Red Mexicana de Ecología Industrial y su primer y actual coordinador.

Grupo en la Universidad Tecnológica de León (UTL), Guanajuato

El grupo de la Universidad Tecnológica de León comienza a formarse en 2010, consolidándose en el mismo año con la formación de la Red Mexicana de Ecología Industrial. Este grupo pertenece al área de Sustentabilidad para el Desarrollo, donde está incluida la carrera de Ingeniería en Tecnología Ambiental. Aunque el grupo fue formado recientemente, su colaboración con AGSEO-UAM-Xochimilco, GIEI y la UG, lo ha llevado a participar en diversos eventos de capacitación y conferencias. En el rubro de proyectos, se ha trabajado el estudio de sinergias para el municipio de San Francisco del Rincón, especialmente para las empresas de sombrero, calzado y productoras de hule. Se ha trabajado también con recicladoras de plástico y algunas curtidorías en la ciudad de León, Guanajuato. Actualmente, se comenzaron trabajos para estudiar y establecer sinergias en una serie de empresas del rubro alimenticio en el municipio de Pénjamo, dentro de Guanajuato (Turcott, 2012).

Grupo en la Universidad de Guanajuato (UG)

En la Universidad de Guanajuato, dentro de Ingeniería Ambiental, se llevan a cabo actualmente investigaciones con el objeto de establecer simbiosis entre algunas empresas dentro del distrito industrial de León, Guanajuato. Entre ellas se encuentra la búsqueda de efluentes residuales industriales ricos en materia orgánica soluble, que sirvan como donadores de electrones para la reducción de Cr(VI) a Cr(III), presente en residuos peligrosos generados por algunas empresas ubicadas en el sitio. También se busca establecer la simbiosis industrial para encontrar efluentes que permitan neutralizar efluentes altamente alcalinos para ser utilizados como materia prima para la producción de gas. Estos son los primeros pasos que se dan en el camino para el establecimiento de la ecología industrial en el corredor industrial (Celaya, Salamanca, Irapuato, Silao y León) de Guanajuato (Cuevas, 2012).

Grupo en la Universidad Autónoma de Querétaro (UAQ)

En la UAQ se hacen gestiones para realizar la vinculación con la industria y desarrollar proyectos. Existe interés en el gobierno estatal aunque, debido a los cambios actuales de la administración estatal, no se han podido establecer los convenios (Villatoro, 2012).

La ecología industrial en la currícula de las universidades

A pesar de que la EI existe desde hace pocos años en México, ya se ha introducido en la currícula de cinco universidades. Formar a personas en EI y especialmente a través de estudios reglados, es la mejor manera de diseminar la EI y que se pueda llevar a la práctica en México en un futuro cercano.

Instituto Politécnico Nacional

En el IPN se inició la docencia de la EI primero a partir de conferencias y cursos extracurriculares, como los que se llevaron a cabo en 2006, en el Centro Interdisciplinario de Investigaciones y Estudios en Medio Ambiente y Desarrollo. Ahí se desarrolló, de febrero a abril de 2006, un curso de 15 horas para empezar a difundir la EI entre profesorado del IPN. También en 2007 se desarrolló en la Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología (UPIBI) el Curso para Formación de Agentes en EI (60h), que formó a 30 personas entre profesores/as, estudiantes y egresados/as de la UPIBI y algunas conferencias de difusión de la EI. En 2008 se introdujo por primera vez la EI en la currícula, en la carrera de Ingeniería Ambiental, en las asignaturas de Química (primer semestre), Manejo Integral de Residuos I (sexto semestre), Manejo Integral de Residuos II (séptimo semestre), y en la carrera de Ingeniería Biotecnológica en la asignatura de Protección Ambiental (quinto semestre). En 2011 se introdujo en el Posgrado en Ciencias en Bioprocesos, a través de la asignatura “Temas selectos de Biotecnología” y en 2012 a través de la asignatura “Biotecnología Ambiental”.

En 2008 se desarrolló en el grupo el primer proyecto terminal de ecología industrial del IPN y desde entonces se han desarrollado diferentes proyectos terminales y tesis de esta temática.

Universidad Autónoma Metropolitana

En el área académica, la materia de ecología industrial sólo se ha incorporado al programa de la maestría en ingeniería ambiental. Esta asignatura, propuesta por el grupo de la UAM-Xochimilco, se imparte en la UAM-Azcapotzalco. También existe la propuesta de desarrollar un seminario sobre el tema en la línea de innovación del doctorado en ciencias sociales de la UAM-Xochimilco.

Universidad Tecnológica de León

La UTL es la única universidad de las aquí mencionadas que imparte la materia de ecología industrial como tal, y no como un tema dentro de otras materias. Esta materia se impartió por primera vez en el cuatrimestre mayo-agosto 2010 y tiene una duración de 60 horas en total, y ha continuado así hasta la fecha (2012). Esta materia es parte de la currícula de la carrera de Ingeniería en Tecnología Ambiental. Aunque es una materia que se puede impartir en otras universidades tecnológicas en el país,¹ sólo la UTL ha decidido hacerlo. En el marco de esta materia se han trabajado proyectos donde cada alumno elige una empresa real para realizar un diagnóstico y posteriormente cruzar la información con sus compañeros para proponer y negociar diferentes sinergias. Se han obtenido resultados interesantes, donde se han detectado sinergias ya existentes entre grandes empresas, y se han propuesto otras que, después, algunos alumnos deciden trabajar como tema de tesis.

¹ Existen más de ocho planteles en el subsistema de universidades tecnológicas que ofertan la carrera de Ingeniería en Tecnología Ambiental y todas tienen la misma currícula. Existen dos materias optativas, donde se puede elegir entre siete diferentes materias, incluida la ecología industrial. La UTL es la única universidad tecnológica que la imparte actualmente.

Universidad de Guanajuato

En la carrera de Ingeniería Ambiental que se imparte en la División de Ingenierías del Campus Guanajuato de la Universidad de Guanajuato, en la materia de Procesos Industriales, desde hace tres años existe un módulo sobre Ecología Ambiental. En esta parte del curso, se les proporciona a los estudiantes el concepto y objetivos de la ecología industrial, se revisan algunos ejemplos y se pide a los alumnos un trabajo final donde ellos propongan la aplicación de la ecología industrial tomando como base las empresas de la región. El profesorado de la asignatura ve la ecología industrial como un camino de futuro para poder lograr el desarrollo sustentable. Los estudiantes ven a la ecología industrial como una fuente de empleo para su futuro como ingenieros e ingenieras ambientales (Cuevas, 2012).

Universidad Autónoma de Querétaro

En la Universidad Autónoma de Querétaro se da un módulo de EI en la materia de Riesgo a la Salud y las Ciencias Ambientales, dentro del programa de la Maestría en Ciencias y Tecnología Ambiental. Actualmente se está haciendo una revisión para que se integre a la licenciatura de ingeniero químico ambiental. A partir de enero de 2013 se impartirá en conjunto con la Remei un diplomado sobre ecología industrial (Villatoro, 2012).

La Red Mexicana de Ecología Industrial (Remei)

Un parteaguas muy importante para el desarrollo de la ecología industrial en México, fue el nacimiento de la Red Mexicana de Ecología Industrial (Remei) en 2010. Como se mencionó anteriormente, existen diversos grupos de investigación dentro de las universidades. La primera colaboración surge entre UAM-Xochimilco e Instituto Politécnico Nacional.

Posteriormente se suman la UTL, UG y UAQ, entonces se platica la necesidad de formar una red para promover la ecología industrial en México. Actualmente esta red está formada por UAM-Xochimilco,UPIBI-IPN (en ciudad de México) y

UPIIG-IPN (en Guanajuato), UTL, UG, UAQ, Cámara de la Industria del Calzado del Estado de Guanajuato (CICEG), Centro de Innovación en Tecnología del Aire (CITA). La presidenta actual de la red es la doctora Gemma Cervantes.

Los objetivos de la Remei son:

- Divulgar conocimientos y experiencias en ecología industrial.
- Influir en los sectores industriales para el cambio de paradigma del proceso lineal al cíclico.
- Realizar proyectos conjuntos e integrales de ecología industrial entre industria, academia y gobierno.
- Formar recursos humanos en ecología industrial.
- Compartir información sobre proyectos de ecología industrial entre los miembros.
- Gestionar recursos para la realización de proyectos conjuntos.

A la fecha, se han realizado siete reuniones de esta red. Dos de ellas dentro del marco del Congreso Internacional de Sistemas de Innovación para la Competitividad (Sincco) (2010 y 2011) del Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Guanajuato (Concyteg), donde se presentó una mesa con el tema “Ecología industrial e innovación”, con diversos trabajos realizados alrededor de EI en México. También, dentro de las reuniones de Remei, se han impartido dos cursos a la fecha: “Ecología industrial” por la doctora Gemma Cervantes y “Modelos de gestión ambiental, una propuesta para la ecología industrial” impartido por la doctora Graciela Carrillo. En la imagen se pueden ver los asistentes a la segunda y tercera reuniones de la Remei.

Para 2011 se crea el blog de internet y se realiza un concurso para el diseño del logo, resultando ganador el mostrado en la siguiente imagen.

Foros de ecología industrial en México

En 2006 el IPN convocó un taller de alto nivel con empresarios, gobiernos federal y estatales y sector académico para ver si México reunía las condiciones adecuadas para la difusión e implementación de la EI en México. A esta primera jornada eco-industrial le siguieron tres más en el periodo 2007-2009, que organizaron

Asistentes a la segunda y tercera reuniones de la Remei



Logo de la Red Mexicana de Ecología Industrial



conjuntamente la asociación AISTAC y el IPN. En ellas se vieron diferentes aspectos sobre la introducción de la ecología industrial en México.

El primer congreso donde específicamente se tuvo una mesa de ecología industrial fue el Congreso Sincco, Sistemas de Innovación para la Competitividad, organizado por el gobierno del estado de Guanajuato, en sus ediciones 2010 y 2011. Esta mesa fue organizada en su primera edición por la UAM y el IPN y en su segunda edición por la red Remei, que ya se había constituido el año anterior, justamente en el congreso Sincco 2010. La Mesa de Ecología Industrial de este congreso ha sido una plataforma muy eficiente para la difusión de la EI en México y para aglutinar a más gente interesada en la EI, especialmente a través de la Remei. También en estos congresos se ha tenido ocasión de presentar libros de EI y de otras temáticas escritos por miembros de la Remei.

Otro foro que ha dado lugar a la difusión de la EI es el Foro de Residuos Sólidos de Guanajuato, que en su edición de 2011 ofreció a la Remei un stand y diferentes ponencias para contribuir a difundir la EI entre un público mayoritariamente industrial.

También Semarnat, a través de la Dirección General de Industria, organizó en octubre de 2012 un Foro de Simbiosis Industrial para dar a conocer este concepto, y explorar las posibilidades de que el gobierno pueda incluirla como una estrategia de producción y consumo sustentable.

Durante febrero y abril de 2013 se realizó el Primer Diplomado de Ecología Industrial en México en las instalaciones de la UAQ en Querétaro, fue organizado por la Remei y asistieron alumnos de la UAQ y personal de diversas empresas del Estado.

Retos y perspectivas para la ecología industrial en México

La EI se aplica principalmente, aunque no exclusivamente, en el mundo industrial. Pero las industrias suelen ser bastante reticentes a incorporar nuevas temáticas y metodologías, principalmente por cuestiones económicas. Por tanto, uno de los retos es favorecer, con la ayuda de algún incentivo, la introducción de la EI en el mundo industrial.

Para ello, una posibilidad sería la existencia de un incentivo fiscal para las empresas que establecieran sinergias con otras empresas o que se instalaran

en parques eco-industriales, creados específicamente para utilizar la simbiosis industrial.

Otra posibilidad sería facilitar el trámite para darse de alta como empresa generadora de residuos peligrosos. Este trámite es imprescindible para poder intercambiar un residuo con otra empresa, según se especifica en el Reglamento de la LGPGIR, especialmente en sus artículos 6, 21, 46 y capítulo IV (Cámara de Diputados, 2006). Como el trámite resulta muy complicado para las empresas, éstas a menudo desisten de completarlo. Se podrían implementar medidas que disminuyan o faciliten los trámites de empresas generadoras de residuos peligrosos en el caso de que se quiera intercambiar el residuo con otra empresa para que esta lo utilice como insumo.

Otro de los retos para la EI en México es que desde el sector gubernamental se apoyen estas prácticas y se quieran potenciar. Ni el gobierno federal, ni los estatales o locales se han involucrado hasta ahora en la promoción de experiencias o en la difusión de la EI. Cuando el proyecto NISP inició en Lerma (Estado de México) subsidiado por el gobierno británico, el compromiso por parte del gobierno del Estado fue que a los dos años financiaría el proyecto. Después de dos años de labores, el Estado de México no subsidió el proyecto NISP y éste desapareció. Una posibilidad para la expansión de la EI sería que la Dirección General de Industria de la Semarnat impulsara la EI como estrategia a promover en todas las industrias.

Otro reto para México sería la creación de políticas públicas relacionadas con la EI o la simbiosis industrial. Éstas existen en varios países (China, Corea, Holanda, Tailandia, Japón, etcétera) y ahí donde se implementaron promovieron muy intensamente la EI. Estas políticas podrían incluirse inicialmente en planes y programas de la Federación, de estados, municipios o delegaciones y posteriormente incluirse en los ordenamientos jurídicos como una reforma a la LGPGIR, LGEEPA e incluso en el futuro, como norma o como ley propia, tal como sucedió en China en 2011.

Otro reto es encontrar una metodología de implementación de la EI en México que sea propia del país o adaptada a las circunstancias de México. Cualquier intento de traspasso de metodologías de otros países, sin una adaptación a las condiciones culturales, económicas, sociales y políticas del país, puede resultar en un fracaso.

Unido a esto, uno de los mayores retos es cómo hacer que los industriales mexicanos comprendan la gran importancia de la EI a nivel económico, ambiental

y social, de manera que ellos mismos tengan la iniciativa de implementarla. Para ello sería muy importante conseguir un mayor compromiso de las cámaras y confederaciones industriales de México. Éstas han sido sensibles a la temática incorporando en sus encuentros y foros la simbiosis industrial y la EI, e incluso la propia Concamin lideró el inicio de NISP en México, Pero su nivel de involucramiento no ha llegado a la incorporación de directrices que promuevan la EI y SI entre sus asociados ni a la promoción de ejemplos piloto de EI y SI en sus empresas y parques industriales.

Otro reto es la creación de estudios de posgrado en ecología industrial. Como se ha descrito en el capítulo anterior, ya se ha iniciado la implementación de estudios de EI dentro de licenciaturas, e incluso se está iniciando de forma modesta dentro de asignaturas de los posgrados de la UAM-Xochimilco, del IPN y de la UAQ. Pero para promover la investigación y hacer avanzar esta temática es necesario formar a investigadores en México en EI, con estudios formales de EI, que se titulen en esta disciplina. Estos estudios deben estar necesariamente conectados con los que se imparten en otras partes del mundo (principalmente en Europa y Estados Unidos), a través de intercambios, becas y titulaciones convalidables, tal como sucede con varios estudios de posgrado en EI en Europa, pertenecientes al programa Erasmus Mundus.

Otro reto es la apertura, comunicación y difusión de cómo se está promoviendo la EI en México, a otros países y a la comunidad internacional de EI. Esto puede hacerse a través de la participación de industriales en ferias y eventos de EI en otros países o de visitas que hagan a ecosistemas industriales del extranjero o de visitas de industriales extranjeros a los ecosistemas industriales de México. También a partir de la incorporación a la ISIE (ISIE, 2012), del intercambio de investigadores, de la participación de investigadores mexicanos en congresos internacionales de EI, de la estancia de profesorado invitado y estudiantes de posgrado extranjeros en México. O a través de contacto del sector gubernamental de México con gobiernos de países o regiones que promueven experiencias de ecología industrial.

Conclusiones

Actualmente la EI está implementada básicamente en un ejemplo eco-industrial, iniciándose en varias universidades en forma de docencia e investigación, y existe

una red de EI que la promueve. Pero falta más apoyo de cámaras y confederaciones industriales, programas de gobierno que la promuevan, estudios regulados de posgrado y una proyección internacional de México en esta temática.

Aunque la realidad que prevalece es limitada, las perspectivas para la EI son buenas, pues se están sentando bases en diferentes campos para promoverla y México está en un momento en que se da una fuerte promoción a las temáticas ambientales y de desarrollo sustentable. También es probable que próximamente, a iniciativa de la comunidad ecoindustrial de Devens (Massachusetts, Estados Unidos), se cree una red estadounidense de ecología industrial entre Canadá, Estados Unidos y México. Esta red sería un buen impulso para la promoción y proyección de la EI en México y situaría a México en la mira internacional en temas de ecología industrial.

Bibliografía

- AGSEO [http://desh.xoc.uam.mx/produccioneconomica/AGSEO/pagina_AGSEO/Index.htm], fecha de consulta: 12 de diciembre de 2012.
- Cámara de Diputados (2006), Reglamento de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos, Nuevo Reglamento DOF 30-11-2006.
- Cervantes, G., F. Robles, M.C. Calixto, G. Rodríguez, D. Sosa (2008), “Applying industrial ecology in an organic farm”, ponencia presentada en el 3rd International Meeting on Environmental Biotechnology and Engineering, Palma de Mallorca, España, septiembre.
- Carrillo, G. (2012), Comunicación personal, 15 de diciembre.
- Comunidad indígena de Nuevo San Juan Parangaricutiro (2011), *Historia* [<http://www.comunidadindigena.com.mx/principal.html>], fecha de consulta: 19 de julio de 2011.
- Concamin (2009), *Boletín NISP*, núm. 8, México, noviembre.
- Cuevas, G. (2012), Comunicación personal, 10 de diciembre.
- Forest Stewardship Council (FSC) (2000), Resumen Público de la Certificación de Manejo Forestal de Comunidad Indígena Nuevo San Juan Parangaricutiro, Michoacán, México, Certificado # SW-FM/COC-101, Consejo Forestal Mundial (pos sus siglas en inglés FSC) y SmartWood [http://www.rainforest-alliance.org/forestry/documents/indigena_nuevo.pdf], fecha de consulta: 19 de julio de 2011.
- Garibay Orozco, C. (s/f), *Comunalismos y liberalismos campesinos. Identidad comunitaria*,

- empresa social forestal y poder corporado en el México contemporáneo*, capítulo V. “La comunidad modelo de Nuevo San Juan Parangaricutiro” [http://www.era.mx.org/Estudios_y_proyectos/RecupBosq/Captiulo-5-Nuevo-San-Juan-Parangaricutiro.pdf], fecha de consulta: 12 de septiembre de 2012.
- Grupo de Investigación en Ecología Industrial (GIEI) [gieiupibi.wordpress.com], fecha de consulta: 10 de noviembre de 2012.
- International Society for Industrial Ecology (ISIE) [<http://www.is4ie.org/>], fecha de consulta: 10 de diciembre de 2012.
- Red Mexicana de Ecología Industrial (Remei) [<http://redmexicanadeecologiaindustrial.blogspot.mx/>], fecha de consulta: 12 de noviembre de 2012.
- Villatoro, W. (2012), Comunicación personal, 12 de diciembre.
- World Bussiness Council for Sustainable Development (WBCSD) [<http://www.wbcd.org/home.aspx>], fecha de consulta: 1 de diciembre de 2012.
- Young, R. y S. Hurtado (1999), “By-Product Synergy: a case study in Tampico, Mexico”, *Journal of Business Administration and Policy Analysis*, 1(1/1999).

Los autores

GRACIELA CARRILLO GONZÁLEZ. Doctora en economía por la Universidad de Barcelona; maestra en economía y política internacional en el CIDE. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores, nivel 1, desde 2007. Es profesora-investigadora de la UAM-Xochimilco en el Departamento de Producción Económica. Es miembro fundador de la Red Mexicana de Ecología Industrial. Ha participado en diversos foros y congresos relacionados con los temas de medio ambiente y empresa, ecología industrial y política ambiental, ha escrito más de 40 artículos y capítulos de libro sobre estos temas y ha coordinado diversos proyectos, entre ellos “Factores determinantes de la ecología industrial en un sistema complejo: el corredor industrial de Altamira-Tampico y el parque industrial Toluca 2000”, financiado por el Conacyt.

GEMMA CERVANTES TORRE-MARÍN. Doctora en química por la Universidad de Barcelona. En 2007 creo el Grupo de Investigación en Ecología Industrial en el Instituto Politécnico Nacional, donde es profesora-investigadora. Coordinadora de la Red Mexicana de Ecología Industrial desde 2010 y miembro de la International Society for Industrial Ecology desde 2001. Ha escrito libros y artículos de ecología industrial y de desarrollo sustentable y participa en foros nacionales e internacionales para la promoción de la ecología industrial. Sus principales líneas de investigación son la simbiosis industrial y la medida del desarrollo sustentable.

MARIO GIRALDI DÍAZ. Doctor en ingeniería ambiental en la Universidad Politécnica de Cataluña, en Barcelona, con una maestría en ingeniería ambiental en la Universidad Nacional Autónoma de México e ingeniero químico por la Universidad Veracruzana. Ha realizado dos estancias posdoctorales, en España y México. Su área de especialidad es la utilización de la herramienta de análisis de ciclo de vida para la evaluación de los impactos ambientales derivados de los procesos productivos, la gestión de residuos y sistemas de energético.

ANA CITLALIC GONZÁLEZ MARTÍNEZ. Doctora en ciencias ambientales (economía ecológica) por la Universidad Autónoma de Barcelona; maestra en ciencias en economía ambiental y de los recursos naturales en la Universidad de Londres (University College

London) y es egresada de la Facultad de Economía (UNAM). Se especializó en indicadores físicos de sustentabilidad. Se ha desempeñado como profesora en la Universidad Autónoma de Barcelona y como consultora en ENT-Environment and Management. Actualmente reside en Singapur, donde es responsable del área de investigación en la empresa social AIDHA [www.aidha.org].

DAVID LULE CHABLE. Ingeniero en biotecnología del Instituto Politécnico Nacional, donde elaboró su tesis titulada “Aplicación de criterios de ecología industrial en industrias del corredor industrial Altamira-Tampico”. Ha participado en al menos cinco congresos nacionales e internacionales. Participó como encargado del laboratorio de análisis fisicoquímicos y como facilitador del tema “Elaboración de diagramas de sinergias: materia-energía y sociales” durante el Seminario de Ecología Industrial. Actualmente es profesor del Departamento de Bioingeniería en la UPIBI y es miembro de la Red Mexicana de Ecología Industrial.

ALEJANDRA HAYDE ROLDÁN MORENO. Maestra en economía y gestión de la innovación y licenciada en administración por la Universidad Autónoma Metropolitana. Actualmente se encuentra laborando para la empresa Yamaha de México desempeñando un cargo como jefa de administración de academias, y su principal interés se ha centrado en los modelos de gestión empresarial, al considerarlos como el motor operativo de las compañías, complementados por sus políticas y administración, los cuales pueden evolucionar hasta considerar principios de la ecología industrial como pilares que los sustenten.

JORGE FERNANDO MORALES TÉLLEZ. Maestro en economía y gestión de la innovación y licenciado en administración por la Universidad Autónoma Metropolitana. Elaboró su tesis sobre sistemas de gestión ambiental y ecología industrial en una gran empresa del sector alimentos. Ha participado en congresos nacionales.

RAÚL ARTURO ALVARADO LÓPEZ. Desde el 2011 es estudiante del Programa de Doctorado en Economía de la UNAM en el área de Economía de la Tecnología, es maestro en economía y gestión de la innovación y licenciado en economía por la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco. Líneas de trabajo y publicación: aprendizaje y capacidades tecnológicas en el sector eólico; energías renovables y cambio climático; gestión integral de residuos sólidos urbanos.

RAÚL HERNÁNDEZ MAR. Tiene estudios de doctorado en ciencias sociales en la línea Sociedad y Territorio, es maestro en políticas públicas y licenciado en política y gestión social por la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco. Actualmente es Profesor-investigador de tiempo parcial del Departamento de Política Cultura de la UAM-Xochimilco.

Ha publicado alrededor de 20 artículos sobre políticas públicas, ecología industrial y gestión pública y ha presentado más de 30 trabajos en eventos especializados en el país y en el extranjero y ha colaborado en varios proyectos.

SANTIAGO FERNÁNDEZ GABRIEL. Maestrante en administración de negocios en la Universidad de Guadalajara, estancia en la Universidad de Osorno, Chile. Licenciado en administración por la Universidad Autónoma Metropolitana. Consultor empresarial en el programa de “Consultorías Universitarias IDIT-Pyme de la Universidad de Guadalajara”. Becario Conacyt en el proyecto UAM-Conacyt “Factores determinantes para la ecología industrial en un sistema complejo: el corredor industrial de Altamira-Tampico y el Parque Industrial Toluca 2000”. Durante 2010 y 2012 ha presentado, en cinco congresos internacionales, temas relacionados con la ecología industrial y las formas de implementación en las empresas.

DOLORES ELIZABETH TURCOTT CERVANTES. Es ingeniera en ecología por la Universidad Autónoma de Chihuahua. Maestría en Ciencia y Tecnología Ambiental por el Centro de Investigación en Materiales Avanzados. Actualmente es coordinadora de la carrera de Ingeniería en Tecnología Ambiental en la Universidad Tecnológica de León. Ha realizado 24 publicaciones nacionales e internacionales en materia de residuos y simbiosis industrial.



La ecología industrial en México, coordinado por Graciela Carrillo González, número 39 de la Colección Teoría y análisis de la DCSH de la UAM-Xochimilco, terminó de imprimirse el 16 de diciembre de 2013, la edición estuvo al cuidado de Vaksu editores, Tenorios 222-24-202, Ex Hacienda Coapa, 14300, México, Distrito Federal, 4623 9053, vaksu_entrepalabras@yahoo.com.mx. El tiro consta de 1000 ejemplares más sobrantes para reposición.



En un mundo globalizado, la competitividad empresarial ha provocado graves consecuencias económicas, sociales y ambientales, actualmente se demanda a las empresas una mayor eficiencia en el uso de los recursos y una actitud de responsabilidad social, este reto les exige moverse en un marco de cooperación interfirmas que da lugar a la construcción de redes de conocimiento e intercambio de tecnologías, innovación en productos, estrategias y procesos que respondan a las nuevas exigencias de eficiencia, cuidado del medio ambiente y generación de empleos.

La ecología industrial es un área de conocimiento que conecta los principios y elementos de la economía con los de la biología, percibe al sistema industrial como una clase de ecosistema donde se describen los flujos de materiales, energía e información, para potencializarlos a partir de la identificación de sinergias que se pueden generar entre los diversas unidades de negocio y con ello dar atención a los problemas ambientales que de su actividad se derivan.

Existen diversas experiencias de ecología industrial en el mundo, siendo el caso paradigmático el del Parque Industrial de Kalundborg en Dinamarca; en México, las experiencias que se han desarrollado son pocas y aún menos las que han sido documentadas, como es el caso de Altamira-Tampico que fue estudiado en el marco del proyecto Conacyt: "Factores determinantes para la ecología industrial (EI) en un sistema complejo".

El objetivo de este libro es abrir un espacio para la discusión teórica que ha dado lugar a la propuesta de la ecología industrial en el ámbito académico y de las empresas, explicar las herramientas en las cuales se apoya y presentar estudios de caso sobre experiencias y aplicaciones de dichas herramientas en México.

ISBN 607280055-7



9 786072 800557



Publicaciones