

# Ecología industrial y desarrollo sustentable

Cervantes Torre-Marín, G.<sup>2</sup> Sosa Granados, R.<sup>1</sup> Rodríguez Herrera, G.<sup>1</sup> y Robles Martínez, F.<sup>2</sup>

*Fecha de recepción: 22 de septiembre de 2008 – Fecha de aceptación: 22 de marzo de 2009*

## RESUMEN

El desarrollo económico basado en la producción masiva de bienes y servicios, ha traído consigo severos daños al ambiente debido a la estrecha relación que existe entre el crecimiento poblacional e industrial y el deterioro ambiental. Dicha situación ha llevado a nuestra civilización a enfrentar un importante reto: convertir las economías industrializadas en sistemas industriales sustentables, demandando la integración de las actividades humanas con los sistemas físicos, químicos y biológicos del planeta. De esta forma, como resultado de la aparición y evolución de diversos conceptos creados desde los años 70's hasta la actualidad, surge el enfoque de la Ecología Industrial como una alternativa bajo la cual, los sistemas de producción lineal se convierten en cíclicos imitando el comportamiento de los ecosistemas naturales 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.

**Palabras clave:** Intercambio, Residuos, Energía, Simbiosis Industrial.

## Industrial ecology and sustainable development

## ABSTRACT

Economic development based in massive production of goods and services causes severe damages to earth due to the relation among population, industrial growth and environmental damage. This situation implies an important challenge: changing industrial economies into sustainable industrial systems, integrating human activities with physical, chemical and biological systems. Since the 70's the appearance and evolution of different concepts related with the environment and sustainable development had led to the concept of Industrial Ecology as a new alternative where linear production systems become cycling systems imitating the behavior of nature. Industrial Ecology is more than the closing of cycles because it tries to promote sustainable development at any level, and interactions among economic, environmental and social sectors.

**Keywords:** Interchange, Residue, Energy, Industrial Symbiosis.

---

<sup>1</sup> Ingeniero Ambiental, Unidad Profesional Interdisciplinaria de BiotecnologíaUPIBI – IPN. México, D. F.

<sup>2</sup> Profesor Investigador de la Unidad Profesional Interdisciplinaria de BiotecnologíaUPIBI – IPN. México, D. F. E-Mail: [frobles@upibi.ipn.mx](mailto:frobles@upibi.ipn.mx)

## INTRODUCCIÓN

El deterioro ambiental actual, resultado de la actividad industrial y de la explosión demográfica en los dos últimos siglos, pone a la sociedad actual en una situación en la que se deben replantear los procesos de producción bajo una óptica del máximo aprovechamiento de energía y recursos naturales.

Hacia la década de los 50's del siglo pasado los intentos para mitigar el impacto causado al ambiente por la industria eran medidas tomadas *al final de la tubería*. Estas tenían grandes desventajas pues solamente canalizaban los daños causados de un medio a otro, sin traer consigo algún ahorro en el consumo de recursos o la disminución de las emisiones contaminantes y por lo tanto un mejoramiento ambiental.

Posteriormente, durante las décadas de los 60's y 70's, como resultado de la aparición de diversos movimientos sociales para crear conciencia sobre el cuidado ambiental, surgen las buenas prácticas ambientales, cuyo objetivo era reducir los impactos causados por las actividades humanas al medio ambiente.

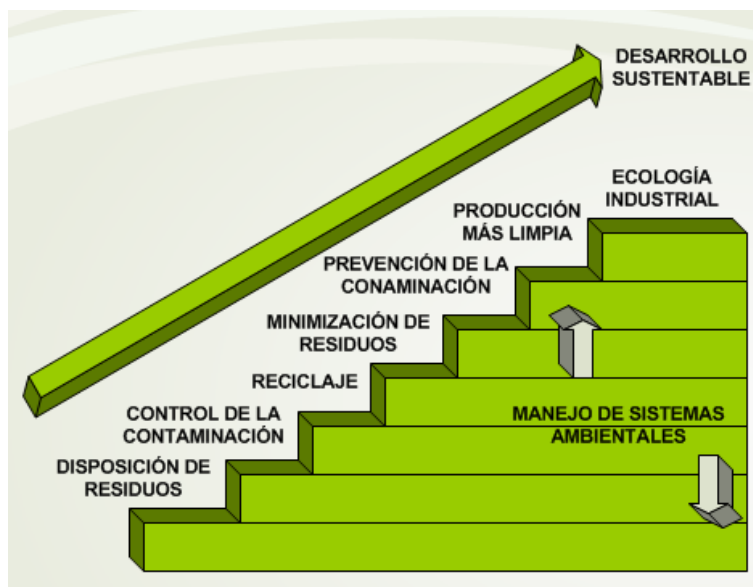
A partir de este momento, se introdujeron conceptos como: Prevención de la Contaminación, Reciclaje, Minimización de Residuos, Producción más Limpia o Ecoeficiencia. Sin embargo, los precedentes más importantes de la Ecología Industrial se encuentran

cimentados bajo los conceptos de *Simbiosis Industrial* y *Sinergia de Subproductos*, nacidos en los años 70's. 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 materia (Ayres, 2001).

El concepto de *metabolismo industrial*, que promueve el flujo de materiales a través de los sistemas industriales para su transformación y posterior disposición como residuos también contribuyó al enriquecimiento del concepto de Ecología Industrial. Sin embargo, aún no se lograba abarcar los tres sectores esenciales para la sustentabilidad: Ambiente, Economía y Sociedad.

De la década de los 90's hasta nuestros días, el concepto de Ecología Industrial se ha consolidado incluyendo los tres sectores del desarrollo sustentable. En la Figura 1, se muestra la evolución de los conceptos surgidos anteriormente hasta la concepción de la Ecología Industrial como el enfoque que hoy en día se aproxima y resalta la importancia de la sustentabilidad.

Es por ello, que la Ecología Industrial es la puerta hacia una nueva forma de pensar y actuar que conduce hasta la meta del desarrollo sustentable (Ehrenfeld, 1997).



**Figura 1.** Pirámide hacia la sustentabilidad (Modificada de Basu y Dirk, 2006).

### DEFINICIÓN DE ECOLOGÍA INDUSTRIAL

Los conceptos de Simbiosis Industrial, Sinergia de Subproductos y Metabolismo Industrial y el inicio del concepto del Desarrollo Sustentable fueron determinantes para que en septiembre de 1989, la publicación científica americana *Managing Planet Earth*, en el artículo *Estrategias para la Producción*, utilizara por primera vez el término *Ecosistema Industrial* (Frosch y Gallopoulos, 1989), que a la postre sentaría las bases para la definición del concepto de Ecología Industrial (EI).

La Ecología Industrial responde a un concepto dinámico, por lo que es difícil encontrar una definición que lo abarque por completo. El presente

artículo se refiere a la EI, como un área de conocimiento que busca que los sistemas industriales tengan un comportamiento similar al de los ecosistemas naturales, transformando el modelo lineal de los sistemas productivos en un modelo cíclico, impulsando las interacciones entre economía, ambiente y sociedad e incrementando la eficiencia de los procesos industriales (Erkman, 2003).

Además, la Ecología Industrial puede describirse también, como el estudio de las interacciones e interrelaciones físicas, químicas y biológicas, dentro de los sistemas industriales, naturales, sociales y al mismo tiempo las interacciones entre ellos, como se ilustra en la Figura 2.

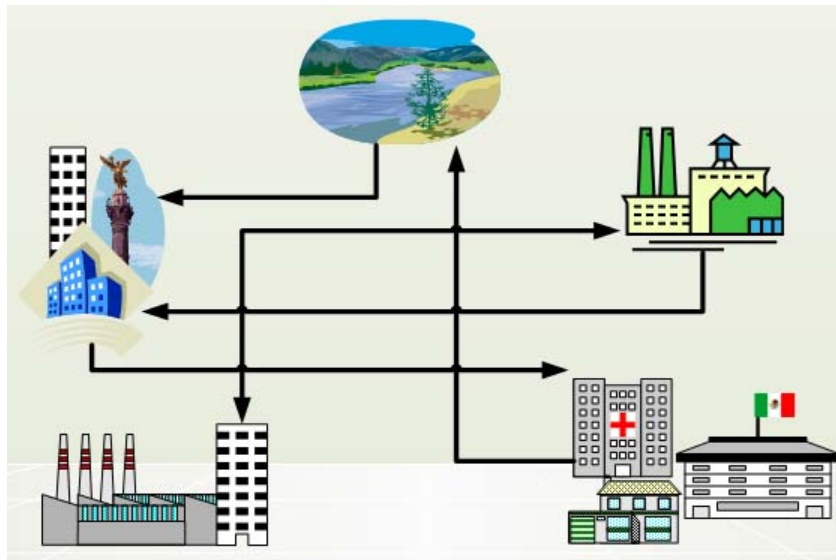


Figura 2. Interacciones propiciadas por la Ecología Industrial.

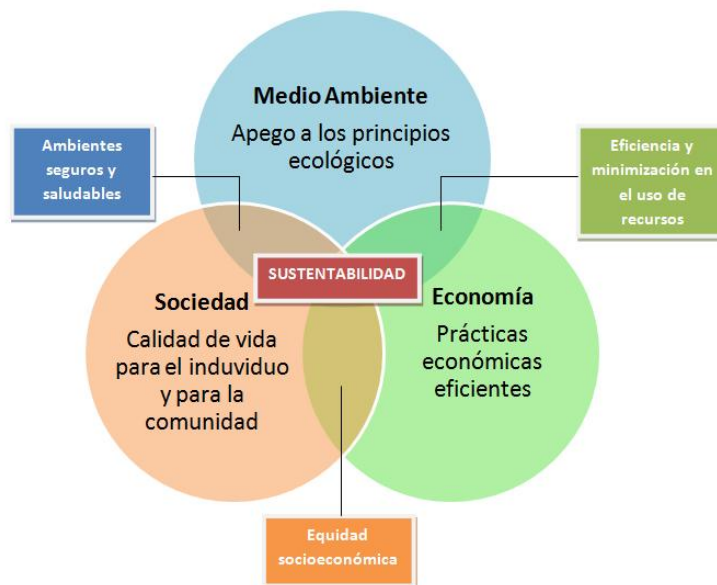
La Simbiosis Industrial es el intercambio de materiales entre varios sistemas productivos de manera que el residuo de uno es materia prima para otros y su implantación promueve una red de empresas. El objetivo inicial de la Simbiosis industrial es económico, pero tiene consecuencias ambientales y sociales positivas. La simbiosis industrial se encuentra contenida dentro de la Ecología Industrial, de manera que no puede existir ecología industrial sin utilizar el método de simbiosis industrial, pero la ecología industrial es más amplia, ya que contempla aspectos económicos, ambientales y sociales para tender a la sustentabilidad.

Como consecuencia del enfoque que ofrece la Ecología Industrial, pueden observarse tres elementos clave dentro de este (Cervantes, 2007):

- Creación una red de industrias o entidades relacionadas con su entorno.
- Imitación del funcionamiento de los ecosistemas naturales.
- Inclusión de los tres sectores del desarrollo sustentable (social, económico y ambiental).

### METAS DE LA ECOLOGÍA INDUSTRIAL

El objetivo final al que tiende la Ecología Industrial, es garantizar el desarrollo sustentable a cualquier nivel: global, regional o local, relacionando a sus tres sectores, como se muestra en la Figura 3. Logrando esta interrelación, es como la Ecología Industrial pretende alcanzar el desarrollo sustentable que proporcione las condiciones ideales para el adecuado desarrollo de la humanidad y de las futuras generaciones.



**Figura 3.** Metas de la Ecología Industrial: Los tres elementos de la sustentabilidad, y las interrelaciones entre sus componentes (Modificado de vanLoon, 2005).

### CRITERIOS DE LA ECOLOGÍA INDUSTRIAL

Para la implementación de la Ecología Industrial es muy importante conocer y aplicar los criterios que ésta sigue para la transformación de sistemas industriales en ecosistemas industriales. Entre estos criterios Cervantes (2006) destaca:

- tendencia a un sistema industrial de ciclo cerrado,
- ahorro en la extracción y uso de recursos naturales
- obtención de energía de fuentes renovables,
- ecoeficiencia,
- desmaterialización de la economía,
- inclusión de costos ambientales en los productos o servicios,

- generación de redes entre las entidades participantes y el entorno,
- generación y mejora de puestos de trabajo.

### EJEMPLOS DE IMPLEMENTACIÓN DE ECOLOGÍA INDUSTRIAL

Actualmente, existen diversos ejemplos de Ecología Industrial y/o de Simbiosis Industrial que han logrado implementarse exitosamente tras el desarrollo de estrategias que permitieron poner en marcha este enfoque.

En la Tabla 1, se enlistan los ejemplos más representativos de implementación de EI, alrededor del mundo.

**Tabla 1.** Ejemplos de implementación de EI en el mundo (Fuente: Cervantes, 2006).

| Europa                           | Asia                       | América                              |
|----------------------------------|----------------------------|--------------------------------------|
| Kalundborg (Dinamarca)           | Bungangan Baru (Indonesia) | By-Product Synergy, Tampico (México) |
| MESVAL (España, Italia y Grecia) | Naroda (India)             | Burnside (Canadá)                    |
| Styria (Austria)                 | Nandeseri IE (India)       | The Bruce Energy Center (Canadá)     |
| Ora Eco-Park (Noruega)           | Thane-Pelapur IE (India)   | Québec (Canadá)                      |
| Jyväskylä (Finlandia)            | Calabarzon (Filipinas)     | Devens (EUA)                         |
| Progetto CLOSED (Italia)         |                            | Brownsville (EUA)                    |

El proyecto más representativo se sitúa en Kalundborg, Dinamarca. Allí nació y se desarrolló un proyecto al que se le dio el nombre de *Simbiosis Industrial* que ha sido hasta la fecha, el programa más completo en cuanto a intercambio de subproductos se refiere. Nació prácticamente por casualidad cuando unas pocas empresas, tratando de reducir costos y

cumplir con la legislación ambiental del país, buscaron nuevas alternativas para el manejo de sus residuos y el aprovechamiento del agua subterránea.

Los desechos en Kalundborg se venden a través de contratos bilaterales que se llevan a cabo en tres áreas: energía, agua y flujos de materiales, poniendo

énfasis en que los beneficios deben ser para ambas partes.

Como tal, la Simbiosis Industrial de Kalundborg se inició en 1972, mostrando un fortalecimiento paulatino, de tal forma que en los años noventa se creó el *Industrial Symbiosis Institute*, con el objetivo de coordinar las actividades y fortalecer dicho proyecto.

En 1994, 16 contratos regían el proyecto de Simbiosis Industrial en Kalundborg, con una inversión de 40 millones de dólares y con un ahorro estimado anual de 7 millones de dólares. Para el año 2000 ya se habían invertido 75 millones de dólares en 19 proyectos con un ahorro estimado de 15 millones de

dólares. Los intercambios materiales y energéticos de este proyecto se muestran en la Figura 4.

La simbiosis industrial de Kalundborg se encuentra en continua evolución. Sólo en los últimos 4 años (2004-2008) se han iniciado 4 nuevos proyectos de intercambios de materiales entre diferentes empresas.

De esta forma, el proyecto *Simbiosis Industrial* continúa creciendo y modificándose hasta la fecha, estableciendo un modelo que ha sido imitado en numerosas partes del mundo y que a pesar de no haber sido creado bajo el enfoque de EI, sentó las bases de lo que hoy en día conocemos como Ecología Industrial (Rosemberg, 2006).

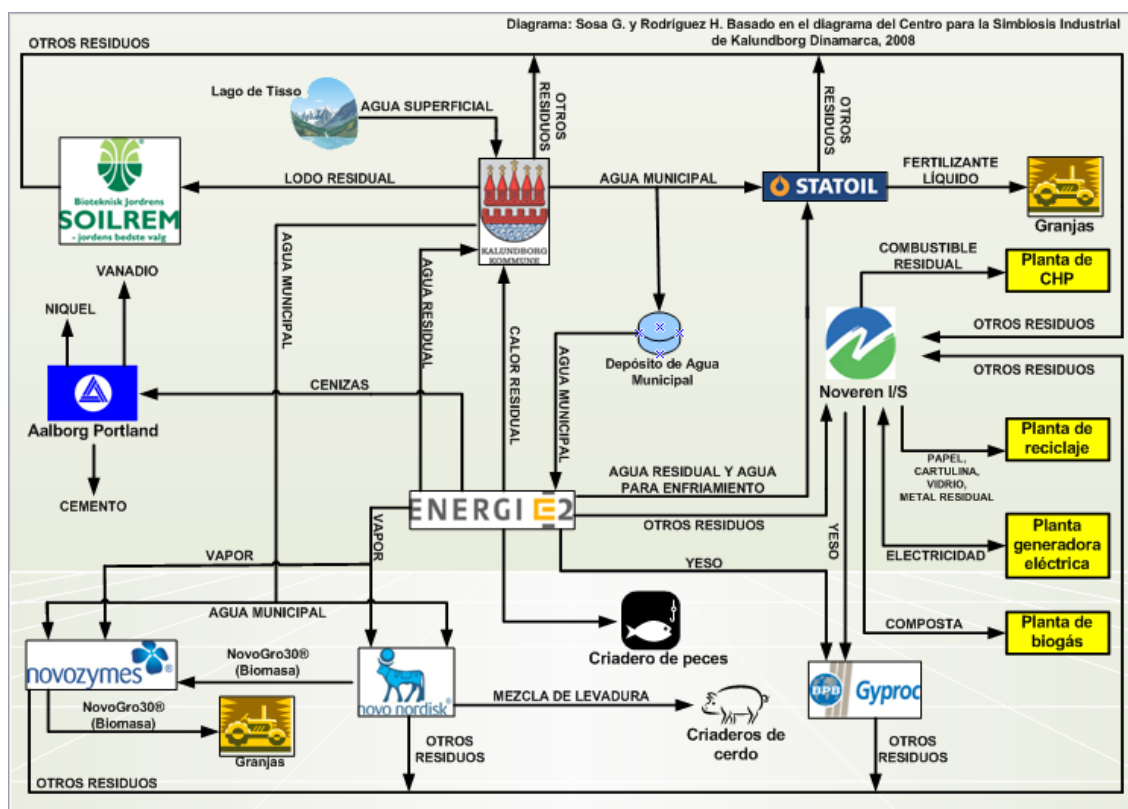


Figura 4. Intercambios en la simbiosis industrial de Kalundborg (Dinamarca).

Otro ejemplo de Simbiosis Industrial es el proyecto: *National Industrial Symbiosis Programme NISP*, que promueve el aprovechamiento e intercambio de residuos y subproductos. El programa NISP actúa como intermediario, promotor y asesor en la interacción entre el sector industrial y las autoridades para poder llevar a cabo los intercambios detectados. Este programa se ha desarrollado en el Reino Unido a nivel nacional y ha establecido oficinas regionales en todo el país para dar servicio cercano a las

empresas. A continuación se muestran algunos de sus resultados en el Reino Unido de 2006 a 2007 (NISP, 2008):

- Reducción de CO<sub>2</sub> emitido en aproximadamente 2.9 millones de toneladas.
- Eliminación de 338 mil toneladas de residuos peligrosos.
- Creación de 618 nuevos empleos.

- Ahorro de 2.54 millones de toneladas de agua potable.

Por otra parte, en Devens (Massachusetts, EUA) se ha creado a lo largo de varios años un parque ecoindustrial en terrenos que tuvieron uso militar. La experiencia desarrollada en Devens, que fue fruto de una planificación, puede considerarse como una comunidad ecoindustrial, más que como un parque ecoindustrial, ya que toda la comunidad instalada en esa zona (industrias, residentes, escuelas, gobiernos, asociaciones, etc.) participa de los ideales y las prácticas del desarrollo ecoindustrial y llevan a cabo multitud de actividades y experiencias relacionadas con la ecología industrial: intercambio de materiales residuales, gestión conjunta de servicios e infraestructuras, fomento de las redes sociales, conservación y recuperación del entorno natural, creación de puestos de trabajo, etc.

### **HERRAMIENTAS DE LA ECOLOGÍA INDUSTRIAL**

La EI utiliza muchas y variadas herramientas y métodos que le permiten 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. Entre ellas podemos mencionar:

- Análisis de Ciclos de Vida (ACV). Consiste en cuantificar todas las cargas ambientales de un producto o servicio “desde la cuna a la tumba”.
- Análisis de Flujo de Materia (AFM). Cuantifica las entradas y salidas de recursos (en masa) de una economía (región, país).
- Diagramas de flujo. Diagramas donde se expresan los procesos que tienen lugar en una empresa, entidad, región, etc. y se indican las materias primas, los residuos, emisiones y descargas, así como los materiales y energía intercambiados.
- Mercado de subproductos. Consiste en la compra venta de residuos y/o subproductos entre entidades distintas.
- Metabolismo Industrial. Definido como el uso de materiales y energía que fluyen a través de los sistemas industriales para su transformación y posteriormente su disposición como residuo (Ayres, 2001).
- Análisis Económico Ambiental. Cuantifica las cargas económicas de un producto o servicio sobre el ambiente, basado en los costos de generación del producto y la explotación de recursos naturales para su elaboración, hasta los impactos ambientales por su posterior manejo y disposición como residuo.

- Producción más limpia. Definida como la aplicación continua de una estrategia ambiental preventiva para aumentar la eficiencia de productos, procesos y servicios y disminuir los riesgos para el hombre y el medio ambiente (PNUMA, 2008).
- Ecoeficiencia. Definida como la dotación de bienes y servicios a un precio competitivo, que satisfaga las necesidades humanas y la calidad de vida, al tiempo que reduzca progresivamente el impacto ambiental y la intensidad de la utilización de recursos a lo largo del ciclo de vida, hasta un nivel compatible con la capacidad de carga estimada del planeta (Stigson, 1999).
- Prevención de la contaminación (P2). Definida por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA, 2008), como la reducción o eliminación de residuos en la fuente a través de la modificación de los procesos de producción, promoviendo el uso de sustancias no tóxicas o menos tóxicas, implementando técnicas de conservación y reutilizando materiales en vez de incorporarlos al flujo de residuos.

### **IMPLEMENTACIÓN DE LA ECOLOGÍA INDUSTRIAL: FACTORES QUE LA FAVORECEN Y BENEFICIOS**

#### **Factores que favorecen la implementación de la Ecología Industrial**

Hay factores que favorecen el éxito en la implementación de criterios y sistemas de ecología industrial en una zona. Algunos de ellos están relacionados con el factor humano. La motivación de los participantes, así como la comunicación que se establece entre ellos y la participación en la creación del ecosistema industrial son claves para que puedan producirse las sinergias (de tipo material, energético, de servicios, infraestructuras, información, etc.) entre participantes.

Hay otros factores contextuales como son una cercanía física entre las entidades participantes, ya que este aspecto disminuirá los costes asociados al transporte, a la creación y/o uso de infraestructuras y al uso de servicios.

La creación de algún tipo de coordinación y/o entidad coordinadora entre los participantes favorece la implantación de nuevas sinergias, ya que estas involucran dos o más entidades distintas.

La regulación y la normativa de los países, estados, entidades regionales, etc. pueden facilitar la implementación de la EI si contemplan en sus normas



y leyes la posibilidad de intercambio de residuos y otros materiales entre industrias.

### **Beneficios que ofrece la implementación de la Ecología Industrial**

La implantación de la Ecología Industrial en un área tiene innumerables beneficios:

A nivel económico, la implementación de la Ecología Industrial genera grandes oportunidades de mejorar los ingresos de las industrias 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.

También se consigue un beneficio integral en materia ambiental al reducir significativamente la cantidad de residuos destinados a disposición final, las emisiones de contaminantes a la atmósfera y las descargas de aguas residuales a cuerpos de agua. También se produce un ahorro significativo de recursos naturales y ahorro energético a través de medidas de ecoeficiencia y un aumento en la proporción de uso de las energías renovables.

A nivel social, la valorización de algunos residuos puede dar lugar a nuevos procesos de transformación que generarán nuevos empleos. Asimismo, los daños al ambiente que se consiguen evitar, repercuten positivamente en la calidad de vida de la sociedad.

La EI promueve además la creación de redes que fomentan el desarrollo científico al vincular al sector académico con el sector industrial. 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 otro lado, los principios promovidos por la EI pueden contribuir significativamente a que los gobiernos encuentren rutas hacia la sustentabilidad. La EI es capaz de asesorar a las agencias gubernamentales a cualquier nivel, definiendo políticas y regulaciones, orientando en la planeación de zonas industriales, fomentando así relaciones efectivas y más estrechas entre el gobierno y el sector privado (Lowe, *et al.*, 1997).

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.

De esta manera, los beneficios que se obtienen actualmente por la implementación de proyectos de EI son numerosos haciendo posible que la Ecología Industrial sea una realidad hoy en día, con miras hacia un futuro sustentable.

### **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- Ayres R., Ayres I. (2001). *A Handbook for Industrial Ecology*, 2<sup>nd</sup> edition. Northampton: Edward Elgar.
- Basu A., Dirk J. (2006). *Industrial Ecology Framework for Achieving Cleaner Production in the Mining and Minerals Industry*. *Journal of Cleaner Production*, 14 (3-4), 299-304.
- Cervantes G., (2006). *Manual de la asignatura: "Introduction to Industrial Ecology. Part B: Industrial Ecology Concepts and Industrial Ecosystems (2 ECTS)"*, Reporte Final del Proyecto Europeo MECOSIND.
- Cervantes G. (2007). *Ecología Industrial*, 1a edición. Barcelona: Fundació Pi i Sunyer.
- Ehrenfeld J. (1997). *Industrial Ecology: A Framework for Product and Process Design*. *Journal of Cleaner Production*, 5 (1-2), 87-95.
- EPA, Environmental Protection Agency. [www.epa.gov](http://www.epa.gov), fecha de consulta: 19-03-08.
- Erkman S, Ramaswamy R. (2003). *Applied Industrial Ecology: A New Platform for Planning Sustainable Societies*. India: Aicra, cop.
- Frosch R., Gallopoulos N. (1989). *Strategies for manufacturing*. *Scientific American*, 261 (3), 144-152.
- Lowe E.A., Warren J., Moran S. (1997). *Discovering Industrial Ecology*. Columbus: Battelle Press.
- NISP, National Industrial Symbiosis Programme. <http://www.nisp.org.uk>. Fecha de consulta: 14-02-08.

- PNUMA, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente [www.unep.org](http://www.unep.org), fecha de consulta: 11-03-08.
- Rosemberg A. (2006). Ecología y Simbiosis Industrial. Centro Tecnológico para la Sustentabilidad. Estructplan. [www.estructplan.com.ar/articulos](http://www.estructplan.com.ar/articulos), fecha de consulta: 13-02-08.
- Stigson B., World Business Council for Sustainable Development (WBCSD) president (1999). What is Eco-Efficiency? in Workshop “Eco-Efficiency”, pág. 2, Sidney, Australia. [www.wbcsd.ch/DocRoot/IVejTnoAn2qiwxlpsWL/EEWhat.pdf](http://www.wbcsd.ch/DocRoot/IVejTnoAn2qiwxlpsWL/EEWhat.pdf) , fecha de consulta: 20-02-08.
- vanLoon, G., Patil S., Hugar L. (2005). Agricultural Sustainability: Strategies for Assessment, 1<sup>st</sup> edition. Sage Publications.

---

Este documento se debe citar como:

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, ISSN: 1665-529X