

**La ecología
industrial y la
simbiosis industrial
para economía
sostenible y circular**

AGUSTÍN MOLINA GARCÍA

Profesor de la Universidad Politécnica de Madrid
y miembro de ASYPS

[01]

Resumen

La ecología industrial es un planteamiento innovador vinculado a la implementación del desarrollo sostenible, con plena vigencia y actualidad en un contexto en el que, si bien el crecimiento económico y el progreso tecnológico han mejorado la calidad de vida de las personas, al mismo tiempo, la escasez de recursos y la contaminación ambiental vinculada al proceso de industrialización se han convertido en un cuello de botella que limita el desarrollo de la humanidad.

A través del enfoque de la ecología industrial las empresas pueden mejorar su desempeño ambiental y sus índices de circularidad, gestionando adecuadamente sus materias primas, la energía, el agua que utilizan y los residuos que generan.

En la práctica, la ecología industrial va a consistir en el desarrollo de estrategias y métodos para modelizar la cadena trófica del ecosistema industrial, identificar los nichos ecológicos no cubiertos y diseñar la sucesión ecológica del ecosistema con el objetivo de maximizar su racionalidad económica, social y ambiental.

Palabras clave

Ecología industrial, simbiosis industrial, metabolismo industrial.

[02]

Introducción

Cuando se oye por primera vez el concepto de ecología industrial, es normal que se plantee una aparente contradicción, ya que habitualmente se percibe a las industrias y a las ciudades como algo ajeno e incluso contrario a lo ecológico. Incluso se puede considerar como un ejemplo de oxímoron al combinar dos expresiones de significado potencialmente opuesto, ecología e industria.



Pero nada más lejos de su objetivo, ya que, como veremos, la ecología industrial plantea un enfoque innovador dirigido a conseguir una gestión de la actividad industrial sostenible y circular.

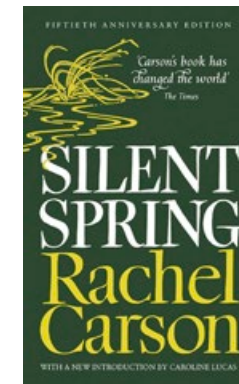
Para introducir este enfoque, es bueno que reflexionemos sobre por qué y cómo ha evolucionado la percepción y la forma de actuar de las empresas en relación a las repercusiones que tienen sus actividades en el medio ambiente.

Si analizamos la relación entre la actividad industrial y lo que entendemos actualmente por “medio ambiente”, se puede establecer la década de los años 60 del pasado siglo, como el comienzo de la concienciación de la sociedad respecto los efectos negativos de la actividad industrial sobre la naturaleza.

Hasta la década de los 60', el medio ambiente no se planteaba como un elemento limitante a la producción de las empresas, en tanto que en las sociedades avanzadas el objetivo prioritario era el aumentar crecimiento económico, fundamental para la recuperación de los efectos de los bombardeos de la Segunda Guerra mundial.

Consecuentemente, el objetivo de las empresas se centraba en maximizar el beneficio económico, incrementando su producción con el menor coste. En los procesos productivos los contaminantes se dispersaban en la atmósfera, los vertidos se diluían en ríos, lagos o mares y los residuos se depositaban en vertederos en las proximidades de las fábricas.

En las industrias más avanzadas, la gestión de estos elementos se llevaba a cabo con el enfoque de “final de tubería” mediante técnicas de control tales como filtros o depuradoras. Lo que implicaba transferir los contaminantes de un medio a otro sin incentivar el ahorro y sin generar beneficio económico para la empresa, tan sólo añadía costes al proceso productivo.



"Silent Spring"
Rachel Carson (1962)

Como hito en la evolución de la relación entre la actividad industrial y el medio ambiente, es de reseñar la obra de Rachel Carson “Primavera silenciosa (publicada en 1962)” que ponía en cuestión la capacidad de la tecnología como soporte de un crecimiento económico sin límites, advirtiendo de los efectos perjudiciales de los pesticidas en el medio ambiente y culpaba a la industria química de la creciente contaminación, de forma específica el DDT -dicloro difenil

tricloroetano- pesticida de amplio espectro, que se planteaba como a solución para combatir el hambre en el mundo.

La obra de Rachel Carson inspiró el movimiento ecologista y promovió de la creación de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA) que en 1973 prohibió el uso del DDT. La Primavera silenciosa es considerado uno de los 20 libros de divulgación científica más influyentes de todos los tiempos.

A comienzos de los años 70 aparece el concepto de "producción limpia", basado en la incorporación de técnicas preventivas que implican la modificación de los procesos productivos para reducir los elementos contaminantes o su toxicidad.

En 1972 se publica "Los límites al crecimiento" de Donella y Denis Meadows, encargo del Club de Roma al MIT para analizar la capacidad del planeta para soportar el crecimiento económico.

En los años 80 surge el enfoque de la "gestión medioambiental", un avance sustancial a través del cual la solución a los problemas ambientales se integra dentro de la gestión global de la empresa, con el objetivo de prevenir la contaminación y minimizar los impactos negativos de sus actividades sobre el medio ambiente

En este contexto, surge la Ecología Industrial, directamente vinculada al enfoque del Desarrollo Sostenible, postulado en 1987 en el Informe de la Comisión Brundland "Nuestro futuro común".

El origen de la ecología industrial se puede establecer en el artículo Strategies for Manufacturing de Robert Frosch, ex-administrador de la NASA y director del Centro de Investigación y Desarrollo de General Motors, y de Nicholas Gallopoulos, ingeniero químico e investigador de este Centro de I+D. El artículo, publicado en 1989 en un número especial de la revista Scientific American dedicado a explorar las perspectivas de un desarrollo humano sostenible en un planeta con recursos finitos, pretendía alumbrar un modelo de actividad industrial más integrado, sostenible a nivel global, en el que se optimizara el uso de materiales y de energía, se minimizaran los residuos y la contaminación y se mejorara la viabilidad económica del sistema productivo.



"Strategies for Manufacturing"
Frosch and Gallopoulos (1989)

[03]

¿Qué tenía de innovador la ecología industrial?

Consecuentemente a sus orígenes, la ecología industrial propone que, para avanzar hacia el desarrollo sostenible, los sistemas industriales deben comportarse de forma similar a los ecosistemas naturales. Como Frosch y Gallopoulos indican en su artículo, "El modelo tradicional de actividad industrial en el que los procesos de fabricación individuales consumen materias primas y generan productos para vender, más residuos para eliminar deben transformarse en un modelo más integrado: un ecosistema industrial. En un sistema de este tipo se optimiza el consumo de energía y materiales, se minimiza la generación de residuos y los efluentes de un proceso pueden servir como materia prima para otro, reduciendo así el impacto de la industria en el medio ambiente."

De hecho, el título original del artículo era "Manufacturing - The Industrial Ecosystem View" pero, por los motivos que se expresaba al principio, para los editores de la revista se consideraba demasiado avanzado.

En los años siguientes la Ecología Industrial ha ido ganando el reconocimiento tanto del sector industrial, como del institucional y del académico; en 1997 nació la revista científica Journal of Industrial Ecology y tres años después, en 2001 se inauguró la International Society for Industrial Ecology, promovida por la Academia de Ciencias de Nueva York y dirigida a abordar los desafíos de sostenibilidad a través de la ecología industrial como forma de lograr una economía circular.

En los últimos años, con el impulso de la economía circular, la ecología industrial y su aplicación más operativa la Simbiosis industrial, se consolida como un modelo restaurativo, altamente práctico, que ofrece evidentes oportunidades tanto para las empresas como para su entorno social y medioambiental.

[04]

¿En qué consiste y qué aporta la ecología industrial?

Podemos considerar la ecología industrial como una metáfora en la que los ecosistemas naturales van a ser la referencia biomimética.

De esta manera, para conseguir una ecología industrial, las actividades industriales deberán comportarse de forma similar a como se comportan los seres vivos en los ecosistemas naturales.

Asumiendo la metáfora como una herramienta creativa que facilita la “transferencia” de conceptos, se pueden establecer las siguientes definiciones vinculadas a la implantación de la ecología industrial.

Considerando que un ecosistema, entendido según lo definía Arthur Tansley como “la unidad ecológica fundamental”, constituida por la interrelación entre seres vivos y subsistemas abióticos que ocupan un espacio definido y que se traduce en una corriente de energía que conduce a una estructura trófica, a una diversidad biótica y a ciclos materiales claramente definidos

Se puede definir Ecosistema industrial, como un sistema funcional de relaciones entre industrias y subsistemas socioeconómicos y naturales, que se traduce en un flujo de materias y de energía basado en una diversidad de empresas y organizaciones, que conduce a una estructura trófica determinada.

Consecuentemente, la cadena trófica del ecosistema industrial será el flujo de intercambio de materias y energía entre las diferentes empresas y organizaciones, donde los efluentes de un proceso sirven como materias primas para otro; lo que se puede definir también como metabolismo industrial.

Por el hábitat de una empresa, se entenderá el contexto socioeconómico y tecnológico en el que ésta desarrolla su actividad y que estará determinado por la regulación normativa, los

intereses de sus clientes, de sus trabajadores, de los accionistas, de los proveedores y de cualquier otra parte implicada en su actividad productiva o comercial.

De esta manera, podemos definir el nicho ecológico de una empresa como la forma en que ésta se relaciona con otras industrias y con el contexto socioeconómico; qué flujos de materia y energía necesita incorporar a su proceso y cuales genera, es decir su función en la cadena trófica del ecosistema industrial.

Finalmente, la sucesión ecológica en el ecosistema empresarial vendrá dada por su evolución en el tiempo e implicará tanto la incorporación de nuevas empresas, como de tecnologías limpias y de buenas prácticas, todo ello dirigido a aumentar la diversidad y resiliencia del ecosistema industrial y en consecuencia a mejorar su eficiencia en el uso de materias y de energía.

En base a estos conceptos, podemos establecer que la ecología industrial se aborda en base a tres enfoques:

Un **enfoque conceptual**, ya que como hemos visto la ecología industrial se inspira en la naturaleza para aumentar la eficiencia, la sostenibilidad y la resiliencia del sistema industrial.

Un **enfoque operacional**, que implica partir del análisis el flujo de materiales y energía para poder diseñar una red de intercambios entre las distintas empresas e identificar posibles nichos de negocio no cubiertos. Este análisis, que se deberá realizar de forma exhaustiva tanto a nivel de procesos como de empresa, servirá para identificar los diferentes aspectos ambientales: consumo de recursos, energía, generación de residuos, emisiones, vertidos, derivados de la producción.

Pero una actividad industrial es más que la fabricación de un producto, también es un sumidero de recursos, una fuente de emisiones, un lugar para trabajar, una oportunidad de inversión y mucho más.

Por ello, el **enfoque sistémico** aporta la visión global del sistema industrial y de sus relaciones con su entorno socioeconómico, y sirve para promover la interacción entre personas, actividades y recursos de un territorio (por ejemplo, en polígonos industriales), con el objetivo final de producir desarrollo y bienestar colectivo.

Avanzar en la aplicación de la ecología industrial implica asumir un enfoque sistémico y multidisciplinar. Supone, pasar de considerar la actividad industrial como un modelo de producción y consumo lineal, a un modelo sistémico de flujos circulares de materias y de energía que mejore la eficiencia de los procesos industriales y las interacciones entre la actividad económica, el medio ambiente y la sociedad

Para analizar los problemas ambientales con un enfoque sistémico y considerar su repercusión en los ámbitos económico, medioambiental y social, la ecología industrial deberá apoyarse en tres disciplinas diferentes: las ciencias ambientales, las ciencias técnicas y las ciencias sociales, de forma clara en la economía.

[05]

La simbiosis industrial

Como hemos apuntado antes, la simbiosis industrial es la aplicación operativa de la ecología industrial y consiste en establecer redes de intercambio y cooperación en zonas industriales. El desarrollo de la simbiosis industrial implica a empresas de todos diferentes sectores empresariales mediante el comercio e intercambio de materias y de activos con el objetivo de agregar valor, reducir costes y beneficiar al medio ambiente.

Estos intercambios podrán ser de materiales, de energía, pero también se pueden compartir activos (maquinaria o equipamientos) o medios logísticos (como rutas, vehículos o almacenes).



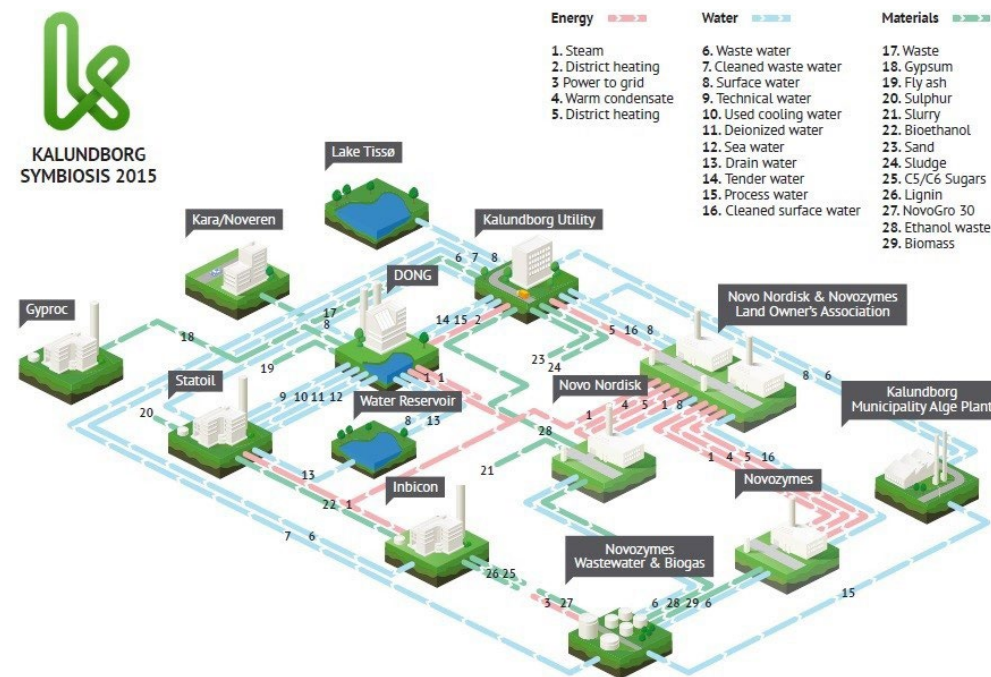
Para desarrollar y poner en marcha procesos de simbiosis industrial se pueden considerar dos modelos, diferenciados en base a cómo se originan:

- El de parque eco-industrial planificado, donde una entidad promotora que puede ser pública o privada impulsa su desarrollo, partiendo del diseño de la cadena trófica del ecosistema industrial, en base a los flujos de materiales y de energía de la o las empresas promotoras, e incorporando a otras empresas de diferentes sectores industriales que ocupen los nichos ecológicos identificados.

- El autoorganizado o no planificado, en el que el impulso parte de las expectativas de beneficios económicos derivados de la creación de las redes de intercambios. Esto implica que las iniciativas de intercambio deberán ser viables desde el punto de vista técnico y de mercado.

En ambos casos, para identificar las posibles sinergias entre las empresas del ecosistema industrial, es conveniente analizar experiencias consolidadas y casos de éxito en los que participen empresas que generen el mismo tipo de residuos, así como oportunidades de reutilización de los residuos en otros sectores.

El ejemplo paradigmático es el parque eco-industrial de Kalundborg, en el que se evidencia el gran potencial de la simbiosis industrial.



Kalundborg es un municipio costero de Dinamarca, a unos 100 km al oeste de Copenhague, con una población de aproximadamente 16.000 habitantes. Además de ser un destacado puerto de mercancías, tiene importantes plantas industriales, entre ellas de producción de energía, de refinado de petróleo, de fabricación de cemento y del sector de la biotecnología entre otras.

Desde los años 60-70 el desarrollo industrial de toda el área ha estado basado en el establecimiento de relaciones simbióticas entre las diferentes empresas y entidades del municipio, siguiendo el modelo de simbiosis autoorganizado basado en la obtención de beneficios económicos. De esta forma, lo que para una industria eran residuos de materia, o excedentes de energía, terminaba convirtiéndose en entradas para otra actividad industrial o de servicios.

El desarrollo del parque eco-industrial de Kalundborg parte del aumento de las necesidades de abastecimiento de agua dulce que se generaba como consecuencia del desarrollo industrial de la zona, con la instalación de la refinería de petróleo Statoil, la mayor de Dinamarca, y la empresa farmacéutica Novo Nordisk.

En el centro de la red de intercambio se encuentra la central térmica Asnaes, de 1500 MW, que vende el vapor que genera a la refinería de petróleo y al fabricante de enzimas y productos farmacéuticos.

La refinería a su vez vende a la central térmica el gas natural que antes quemaba y canaliza a la misma el agua de refrigeración, unos 700.000 m³/año, que utiliza en su caldera tras depurarla. También vende el azufre que elimina de su gas natural al fabricante de ácido sulfúrico, Kemira. La central térmica vende también las cenizas generadas en el proceso de generación de energía, a la empresa Portland de fabricación de cemento. Por su parte la cementera cede sus residuos sólidos para la construcción de carreteras, y vende el yeso que produce en el proceso de desulfuración a Gyproc, un fabricante de paneles de cartón yeso, de manera que casi la totalidad de la demanda de yeso de esta empresa se satisface de esta manera, lo que reduce la cantidad de recurso que obtenía de la minería a cielo abierto.

El calor excedente de la central térmica, en forma de agua caliente, se utiliza para para calentar 3.500 viviendas del municipio de Kalundborg, además de una piscifactoría cercana, lo que reduce la cantidad de contaminación térmica del agua que se descarga mediante un emisario a un fiordo cercano. Tanto los lodos que se generan en la piscifactoría, como los residuos orgánicos de la farmacéutica, se utilizan tras su tratamiento, como fertilizante en las granjas y como alimento en las instalaciones ganaderas de la zona.

En la actualidad el parque eco-industrial engloba a un amplio grupo de empresas de sectores diversos, desde grandes multinacionales a pymes del sector agroalimentario local, incluyendo al propio municipio de Kalundborg.

Los resultados son sorprendentes. Los intercambios de materiales y energía han proporcionado un ahorro de alrededor de 100 millones de dólares por año, el consumo de agua ha disminuido un 25% en diez años, lo que supone un ahorro de 3 millones de m³ al año. En cuanto a emisiones, cada año se evita la utilización de 45.000 toneladas de petróleo y de 15.000 toneladas de carbón, permitiendo una disminución de 175.000 toneladas de CO₂. La mayoría de los proyectos se han rentabilizado en dos años, y los otros en un período máximo de cuatro años.

[06] Conclusiones

La Simbiosis Industrial ofrece evidentes beneficios tanto económicos como ambientales y sociales a las empresas participantes y al territorio en el que se desarrolla.

Es un instrumento clave para avanzar en la economía circular, que ayuda a las industrias a pasar de sistemas de producción costosos e insostenibles a diseños de fabricación técnicamente viables, generadores de ingresos y más ecológicos.

Permite que las regiones y sus poblaciones, se beneficien de ecosistemas más verdes con menos presión sobre los recursos locales, generando economías regionales más fuertes y mayores oportunidades de empleo.



Complementariamente y para favorecer el desarrollo y puesta en marcha procesos de simbiosis industrial, es muy conveniente estimar su impacto económico, social y ambiental que aportará, tanto a las empresas como al territorio.

Si no se dispone de datos directos, la estimación del impacto económico deberá basarse en el valor de los recursos desperdiciados que podrían ser reutilizados y en el ahorro de costes por la gestión actual de los residuos.

Igualmente, la estimación de los impactos ambientales evitados, así como la potencial generación de empleos o la mejora de la calidad de los puestos de trabajo actuales, será muy útil para convencer a las empresas y a los promotores públicos para que inviertan tiempo y dinero en su implementación.

Beneficios económicos

- Reducción de costes en adquisición de materias primas
- Reducción de costes vinculados a la eliminación de residuos
- Aumento de ingresos por venta de residuos/subproductos industriales
- Ampliación de mercados y creación de nuevas empresas

Beneficios ambientales

- Reducción de la demanda de materias primas
- Aumento de la reutilización de energía y agua
- Reducción de emisiones de CO2 y otros GEI
- Reducción de la generación de residuos

Beneficios sociales

- Menor presión sobre los recursos locales
- Mayores oportunidades de empleo
- Economías regionales más fuertes
- Aumento de la concienciación de las organizaciones locales



- Blavot, Christophe. (2010). "Pour une écologie industrielle". École de Paris du management.
- Brundtland, G. H. (1987). "Informe Brundtland". Editorial: OMS Washington.
- Rachel, C. (1962). "Silent spring". Penguin Books.
- Cervantes Torre-Marín, Gemma, et al. (2009) "Ecología industrial y desarrollo sustentable." Ingeniería 13.1: 63-70.
- Cervantes Torre-Marín, Gemma. (2011) "Ecología industrial: innovación y desarrollo sostenible en sistemas industriales". Revista Internacional de Sostenibilidad, Tecnología y Humanismo, núm. 6, p. 58-78.
- Considine, Timothy. (2003) "Ecología industrial." Informador técnico 66: 37-41.
- Frosch R.A., N.E. Gallopoulos. (1989). "Strategies for Manufacturing" Scientific American, 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, 10, pp. 239-255.
- Martínez-Alier, Joan. (2003) "Ecología industrial y metabolismo socioeconómico." Economía industrial 351.3: 15-26.
- Naredo, José M., Carpintero, Oscar. (2003). "La ecología industrial." Revista Economía Industrial 352
- Payre E. (2008) "L'écologie industrielle concilie-t-elle économie et développements durables?". Mémoire de recherche. HEC Paris
- Susur, E., Hidalgo, A. (2019). "The emergence of regional industrial ecosystem niches: A conceptual framework and a case study". Journal of Cleaner Production, 208: 1642-1657.