

Ramón Pastor Martínez (rpastor@ambinet.org)

Comisión de Ecología Industrial. Asociación de Químicos del IQS.

Artículo publicado en Ingeniería Química - Septiembre de 1996

LEAD: La Ecología Industrial es un nuevo enfoque del diseño industrial de productos y procesos y de la implementación de nuevas estrategias sostenibles de fabricación. Es un concepto en el que un sistema industrial se ve, ya no aislado de los sistemas (empresas) que lo rodean sino en equilibrio con ellos.

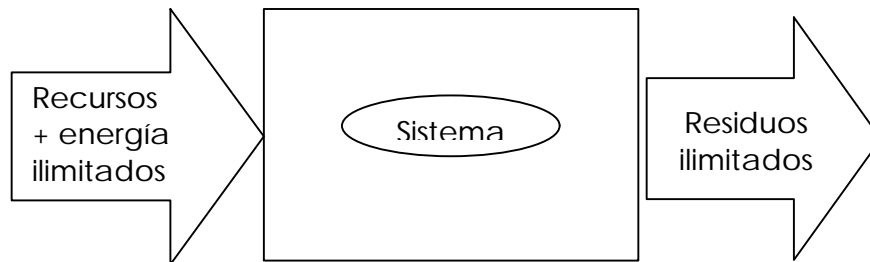
La Ecología Industrial se enfoca sobre las relaciones y flujos de los materiales hacia y desde el ecosistema medioambiental. Busca optimizar el ciclo total de materiales desde la materia prima virgen al residuo no reutilizable, pasando por el material procesado, el componente, el producto y el residuo reciclable.

1.- ECOSISTEMA BIOLÓGICO - ECOSISTEMA INDUSTRIAL

En los ecosistemas biológicos, los productores primarios usan la luz solar, agua y minerales para crecer, mientras que otros consumen a estos primeros, vivos o muertos, junto con minerales y gases y producen sus propios residuos. Estos residuos son, en si mismos, alimento para otros organismos que pueden convertirlos en los minerales usados por los productores primarios en una compleja red de procesos en la que cada cosa producida es usada por algún organismo para su propio metabolismo.

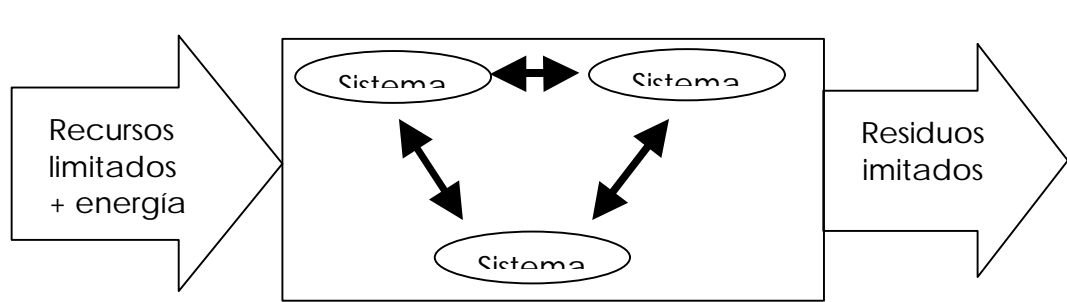
De forma similar, en los ecosistemas industriales, cada proceso debe verse como parte dependiente e interrelacionada de un todo mayor. La analogía entre el ecosistema biológico y el industrial no es perfecta, pero se podría ganar mucho si el sistema industrial imitara las mejores características de su homólogo biológico.

En los tiempos primigenios, los recursos eran tan abundantes que la existencia de formas de vida no tenía prácticamente impacto sobre su disponibilidad. El flujo de materiales en un nivel era completamente independiente de todos los demás flujos. Un modelo completamente lineal, como el representado en la figura 1.



Esta tendencia puede asociarse a la expansión de la Revolución Industrial del siglo XVIII que tuvo lugar en un contexto de abundancia generalizada, con lo que grandes cantidades de energía y recursos materiales eran fácilmente disponibles. Muchos procesos industriales que permanecen hoy en día son aún en gran parte disipativos. Ejemplos: neumáticos, lubricantes, pinturas, pesticidas...

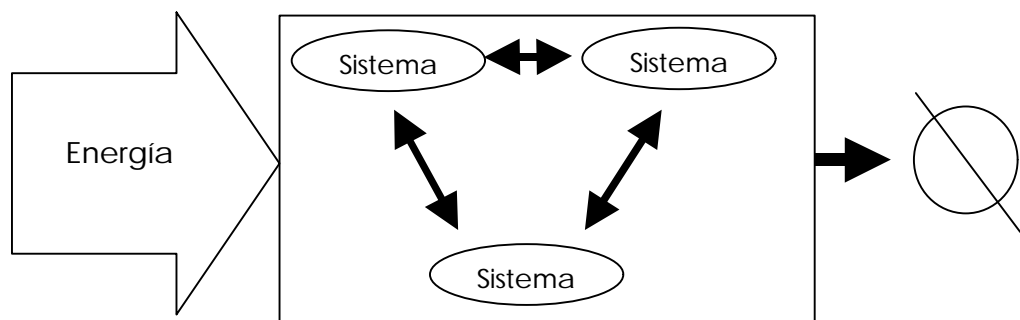
Para evolucionar desde el tipo I al II, los sistemas biológicos tuvieron que verse sometidos a un cambio en el entorno. Ante la "ilimitada" disponibilidad de los recursos característica de los ecosistemas de tipo I, se planteó un nuevo paradigma. La relación recursos/consumidores (r/c) disminuía por causa de la sobrepoblación de especies "derrochadoras". La reducción de r/c favoreció la supervivencia de aquellas especies que practicaban un consumo más eficiente de los cada vez más escasos recursos. La forma típica de aumentar esta eficiencia es la especialización y, por eso, las formas de vida resultantes se volvieron fuertemente interdependientes. Así surgieron las redes de interrelación en las que el producto o residuo de una especie es metabolizado por otra y que conocemos como comunidades biológicas. Los flujos entre los diferentes componentes pueden ser todo lo abundantes que se quiera, pero los flujos hacia fuera y hacia dentro del sistema son relativamente pequeños. Este es el ecosistema de tipo II mostrado en la figura 2, mucho más eficiente que el I, pero insostenible a largo plazo, ya que todos los flujos van en una dirección. Es una fase todavía imperfecta, puesto que representa al ecosistema que busca, pero aún no ha alcanzado, el equilibrio. Con el tiempo, el sistema agotará los recursos.



Nota: Es importante percibir que los ciclos individuales dentro del sistema tienden a funcionar en escalas espacio-temporales muy diferentes. Este comportamiento de los sistemas complica mucho el estudio y entendimiento del sistema global.

Para ser totalmente sostenibles, los sistemas biológicos han evolucionado hasta ser prácticamente cíclicos. Residuos y recursos quedan indefinidos ya que los residuos de un sistema constituirán los recursos de otro. La excepción a esta ciclicidad es que la energía (en forma de radiación solar) está disponible como recurso externo.

Un ecosistema en equilibrio completo es un ecosistema de tipo III, representado en su forma ideal en la figura 3. Constituye un ciclo cerrado de materia con sólo un cierto aporte de energía. Las conexiones entre las diferentes especies están tan bien imbricadas que no existe flujo de materiales entre el sistema y el exterior. Los recursos necesarios para la producción neta actual provienen del resultado de procesos metabólicos sobre los residuos de otros procesos metabólicos que tuvieron como recursos a otros productores primarios anteriores a los actuales.



Si se definen ampliamente los procesos industriales de forma que incluyan la agricultura, los servicios, las infraestructuras urbanas, etc.; el uso antropogénico ideal de los recursos y materiales disponibles para estos procesos sería aquel que se asemeja al concierto del ecosistema tipo III. Sin embargo, muchos de los usos que damos actualmente a los materiales son claramente disipativos; los materiales se degradan, se dispersan y se pierden, a semejanza de los ecosistemas de tipo I. Aún así, no todos los procesos tecnológicos actuales son totalmente disipativos. Allí donde ciertos materiales específicos son lo suficientemente preciosos (escasos) se generan sistemas de tipo II, al menos parcialmente. Un ejemplo claro es la recuperación de los metales preciosos.

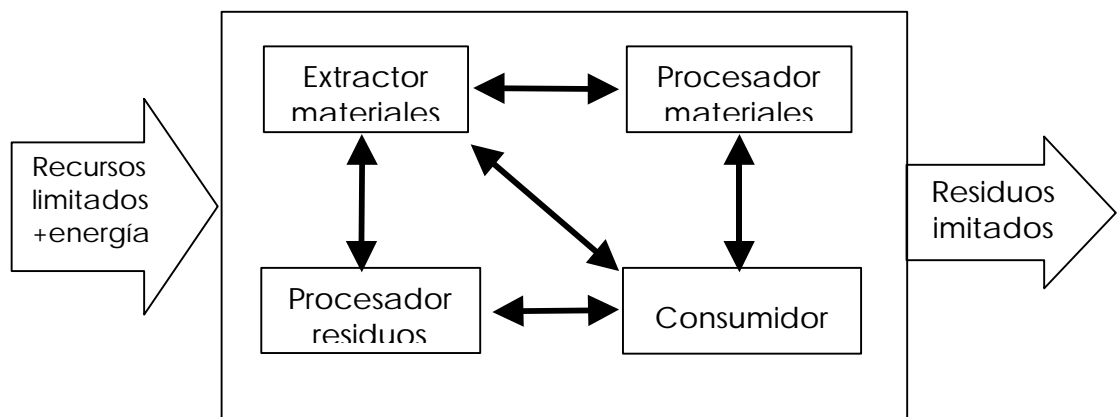
Hoy ya se tiene conciencia de que la humanidad ha llegado al punto de inflexión entre el sistema I y el sistema II. Los indicadores son claros: la cada vez mayor dificultad para obtener recursos otrora abundantes, el agujero en la capa de ozono, el calentamiento global de la tierra, el inicio de la crisis de los vertederos, etc. Se hace necesario, pues, un uso más eficiente de los recursos disponibles. El paralelismo entre la evolución de los ecosistemas biológicos y la del sistema Humanidad-Tierra ha de resultar ya evidente. Aceptando la idea de que el sistema Humanidad-Tierra se encuentra en fase de cambio desde el sistema I hacia el II, es fácil inferir que el futuro se representa mediante una situación de equilibrio como la del ecosistema tipo III.

2.- LOS PROBLEMAS DEL CAMBIO

Para un sistema biológico, el cambio de un sistema a otro es un proceso traumático, aunque lento. Las especies que no consiguen adaptarse desaparecen, dejando paso a aquellas que utilizan con mayor eficiencia los recursos en el entorno del nuevo sistema. El cambio desde el tipo I hasta el tipo III no tiene porque ser menos traumático para el sistema industrial.

El Hombre tiene ante sí la oportunidad de suavizar el proceso. El cambio de mentalidad necesario para ello ha de evitar las penalidades de la transición y también acelerar la llegada a la situación de equilibrio final. Para ello deberá crear (aunque sea

artificialmente) algunas entidades necesarias en los ecosistemas naturales pero que aún no existen en el sistema industrial. El sistema actual necesita estructuras de transporte y acumulación de materiales que hagan posible una industria saneada de reciclaje y remanufactura. El ideal -¿utopía?- es un flujo cerrado de materiales en el que no se extraigan recursos del Medio Ambiente. Pero llegar a esto sólo es posible mediante la creación de intrincados flujos entre producción, transporte, reuso y reciclaje de residuos o mediante la imbricación de las funciones asignadas históricamente a cada uno de los subsistemas representados en la figura 4.



3.- EL PAPEL DE LA ENERGÍA

En todo lo expuesto hasta ahora, y en la mayoría de lo que se puede leer sobre Ecología Industrial, nadie habla de la correcta utilización de la energía. Probablemente, porque el origen del concepto está en los E.U.A. donde, en muchos casos, la energía es aún un bien relativamente económico.

Al describir el uso cíclico de los recursos en un ecosistema tipo III se hizo una excepción: existe un flujo neto de energía entre el sistema y el exterior. Cada eslabón de la cadena trófica aprovecha para su producción más o menos una milésima parte de la energía que recibe. Esto es: los cloroplastos de las hojas aprovechan sólo una milésima parte de la radiación solar que recibe la planta para crecer desde el pequeño brote hasta el árbol frondoso. De la energía que recibe un herbívoro mediante la ingestión de las hojas, solo el 0.1% se utiliza para hacer crecer al animal. Para el carnívoro que se come al herbívoro que se comió las hojas del árbol, la fracción de la energía solar inicial que se aprovecha para crecer

ya es la milmillonésima parte. Un ecosistema tipo III ideal es 100% eficiente en el uso de los materiales para la producción de material biológico, pero resulta ser un gran derrochador de energía.

Para los sistemas biológicos la energía es abundante y gratuita. Es por ello que resultan viables algunos procesos energéticamente ineficientes, pero que permiten cerrar completamente el ciclo de materiales. Cualquier intento de aplicar los conceptos de ecología industrial con la intención de alcanzar un sistema industrial comparable a un ecosistema tipo III no ha de olvidar este detalle.

La conclusión es que para mantener en funcionamiento un ecosistema industrial estable hace falta mucha energía. Si se busca cerrar de alguna forma el ciclo de aprovechamiento de los recursos materiales hay que aceptar el hecho de que algunos de los procesos individuales necesarios para ello no tendrán un aprovechamiento óptimo de la energía. Si no se consideran en su relación con el entorno, estos procesos no resultarán viables. Sin embargo, tienen muchas posibilidades de resultar indispensables para cerrar el ciclo de materiales y alcanzar el equilibrio del sistema III.

Desde luego que lo que se pretende aquí no es justificar el derroche energético. A diferencia de los sistemas biológicos, en los sistemas industriales actuales tanto la energía como los materiales se consideran bienes escasos. Por otra parte, y al igual que ocurre en los sistemas biológicos; en el sistema industrial en transición (I-II), sólo sobrevivirán aquellos procesos que se adapten a la nueva situación de carestía y realicen una gestión óptima de los recursos disponibles. Durante la reforma aparecerán, inevitablemente, procesos ineficientes que pugnarán por sobrevivir al igual que lo hacen las especies biológicas. Si se pretende llegar a un sistema tipo III, debe hacerse que sólo sobrevivan aquellos que, pese a su mala gestión energética, sean indispensables para cerrar el ciclo de materiales.

En principio, esto parece fácil de hacer. Los problemas económicos de los procesos ineficientes podrían solventarse mediante subvenciones basadas en los beneficios que aportan al cerrar el ciclo del sistema en conjunto. Pero no debe olvidarse que para los sistemas industriales la energía también tiene disponibilidad limitada.

La solución no es sencilla. Se está tomando consciencia, al menos en ciertos estamentos, de que esta senda tortuosa es el único camino a tomar. Ya se oyen voces de que, para que esto sea posible, hay que cambiar algunas cosas que llevan tiempo funcionando. Los economistas hablan de la internalización de los costes ambientales por parte de la industria y de modificar el cálculo del PIB para que refleje las alteraciones en la disponibilidad de los recursos naturales propios a corto y a largo plazo.

4.- EL INGENIERO QUÍMICO, PROMOTOR DE LA ECOLOGÍA INDUSTRIAL

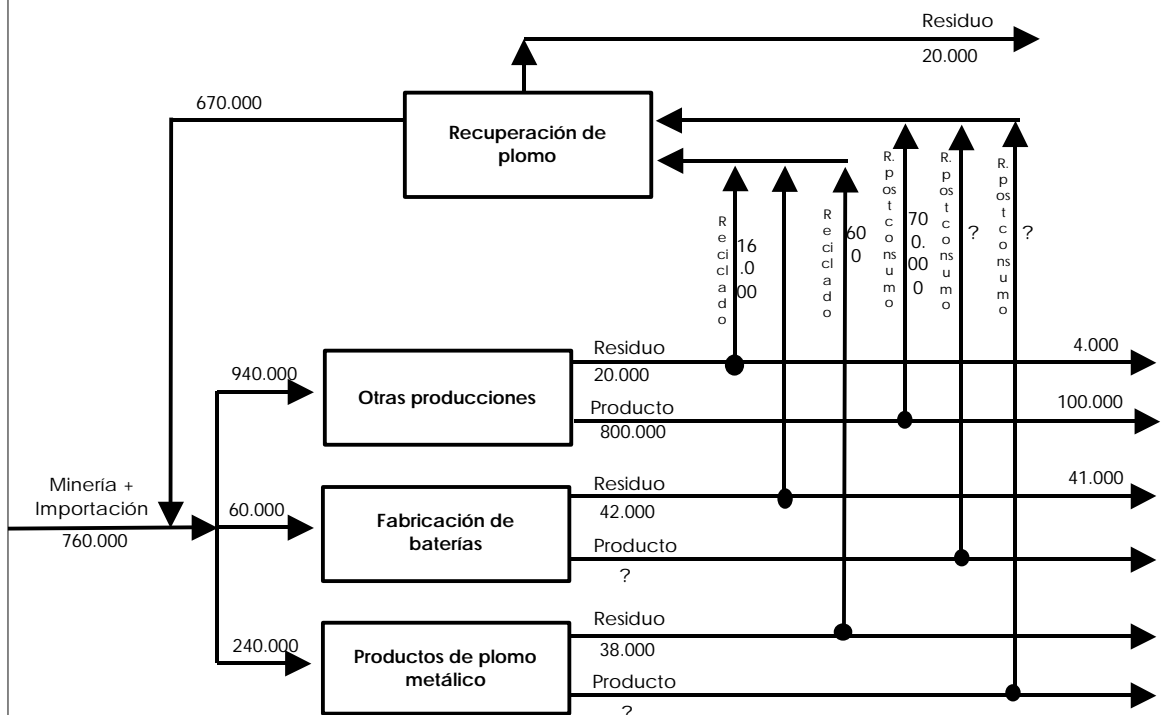
¿Cuál es aquí la responsabilidad del Ingeniero Químico?. Mucha. Precisamente la industria química es la responsable de una parte considerable del derroche material y energético.

David T. Allen y N. Benamesh han comprobado que la industria norteamericana desecha residuos con concentraciones de metales a veces superiores a las del mineral del que se extraen. Muchas de las corrientes que se consideran residuos en una industria pueden servir, con beneficio económico, como materia prima para otras industrias. Al igual que en los sistemas biológicos, para cerrar el ciclo de materiales es necesario que los residuos de un proceso constituyan la materia prima de otro.

Hoy en día ya se dispone de herramientas, como las Bolsas de Subproductos, para facilitar este tipo de acciones. Algunas de ellas llevan cierto tiempo funcionando de forma estable y han permitido a las empresas que usan crear una línea de producto allí donde antes tenían un desperdicio. Sin embargo, al menos en España, la industria química parece no confiar en las ventajas de la segregación y se siguen mezclando corrientes de residuos, cuando algunas podrían ser aprovechadas con beneficio económico. El ingeniero químico tiene la habilidad necesaria y suficiente para detectar este tipo de situaciones y corregirlas. No es necesario que la empresa se someta a una auditoría ambiental para iniciar este tipo de acciones. Tampoco que se embarque en grandes inversiones para cambiar los procesos actuales por otros más "verdes". Una acción así tiene una difícil justificación económica, incluso considerando los beneficios ambientales inmediatos y futuros. No es momento tampoco de darle al "Marketing

ecológico" más valor del que tiene actualmente. Para una empresa química resulta difícil presentar como ventaja comercial un cambio de proceso que permita reducir un 70% las emisiones contaminantes. El proceso resulta misterioso e incomprensible para el consumidor y el producto resultante mantiene las mismas cualidades.

El cambio que se propone en este artículo es mucho más sencillo. Se acopla mejor al concepto de Ecología Industrial, con cambios evolutivos suaves (como en los sistemas biológicos), que el cataclismo económico y tecnológico de la auditoría ambiental y el rediseño de procesos. Se trata de iniciar el estudio de la composición de las corrientes de residuos para identificar nuevas oportunidades de reciclaje. Los trabajos realizados sobre el metabolismo industrial de los metales, dentro de los principios de la Ecología Industrial (Fig. 5), necesitan de este tipo de datos. La información recogida con esta finalidad resultará crucial para la viabilidad de las empresas en un futuro no muy lejano.



A veces, un detalle básico, que no se tuvo en cuenta debido a la carga de trabajo o a que no entra dentro del ámbito de trabajo habitual, es la clave de una reducción de costes o de la eliminación de un gasto. El siguiente ejemplo es un caso sencillo

que muestra las ventajas que pueden obtenerse de este tipo de actuaciones:

⇒ En el fondo de un conjunto de tanques enterrados que contenían disolución comercial de formaldehído, se detectó la presencia de un residuo sólido de apariencia cristalina. El hecho de que el formaldehído no precipite en aquellas condiciones de trabajo hizo pensar que se trataba de algún tipo de impurezas que habían ido decantando en el fondo de los tanques. Se optó por la destrucción de aquel residuo. El presupuesto era elevado, pero parecía ser la única solución. Los departamentos de Producción y Mantenimiento, absorbidos por la dinámica del trabajo y buscando una solución rápida habían olvidado el detalle de que, en determinadas condiciones, el formaldehído forma un polímero lineal (paraformaldehído). Obviamente, éste era el componente principal del "residuo misterioso". Al calentarse, este polímero se descompone y el formaldehído se desprende por sublimación. Una llamada al proveedor, ofreciéndole materia prima gratuita con la condición de que pasara a recogerla, bastó para evitar el gasto de eliminación.

5.- METODOLOGÍA BÁSICA DE LA ECOLOGÍA INDUSTRIAL

Los pasos que el ingeniero químico ha de seguir para adaptar una empresa a los principios de la Ecología Industrial son, a grandes trazos:

- a) Analizar la composición de las corrientes de residuos,
- b) Seleccionar, para su estudio, los materiales presentes en estas corrientes que puedan tener algún interés comercial por su precio o por su cantidad,
- c) Estudiar los requisitos que impone el posible mercado para dichos materiales,
- d) Buscar los métodos para adecuar cada corriente residual a estos requisitos,
- e) Presupuestar las inversiones necesarias y los costes de funcionamiento.
- f) Calcular el plazo de amortización de las inversiones.

Puesto que el plazo de amortización es el indicador preferido por las empresas para determinar la viabilidad de un proyecto de inversión, se indica a continuación una ecuación sencilla para su cálculo. Se incluye en el cálculo la reducción del coste de vertido, un valor muchas veces olvidado que puede resultar crucial para la aprobación de este tipo de proyectos. En una primera fase, puede hacerse el cálculo a partir de valores estimados para hacer una primera selección de las corrientes de residuos que merecen un estudio más detallado.

PA = Plazo de amortización

IN = Inversión total en inmovilizado

CM = Coste de funcionamiento por unidad procesada

CR = Cantidad de subproducto procesada por año

PM = Precio de mercado del material recuperado

RV = Reducción del coste anual de vertido debida a la actuación

$$PA = \frac{IN + (CR * CM)}{(CR * PM) + RV}$$

Muchas veces resultará inútil cualquier intento de justificar la instalación de una pequeña bomba, una tubería y un depósito por razones ecológicas. Resultará más fácil justificarlo por las ventajas económicas que representa el convertir una corriente de residuos en un nuevo producto comercializable. Otras veces no podremos acordar el cobro de esta corriente residual al nuevo cliente. Aún así, es posible que la reducción en el canon de vertido que se deduce de la eliminación de esa sustancia justifique un precio 0 para el posible comprador; siempre y cuando él pase a recogerla.

6.- COROLARIO

Las relaciones económicas y materiales entre las sociedades deben ser identificadas, entendidas y modificadas para reducir la extracción de energía y materiales de la reserva natural así como reducir el retorno de residuos al medio ambiente. El acoplamiento

de las actividades humanas a esta red sistemática es la base del nuevo principio organizacional llamado Ecología Industrial.

Como expresó Albert Einstein: "El mundo que hemos creado con nuestra forma de pensar tiene problemas que no pueden resolverse pensando como lo hacemos actualmente".

7.- BIBLIOGRAFÍA

Ayers, R.V., "Industrial Metabolism" in Technology and Environment, J.H. Ausubel and H.E. Sladovich, eds. National Academy Press, 1989

Jelinski L.W. et al., "Industrial Ecology: Concepts and Approaches", Proc. Natl. Acad. Sci. USA. Vol. 89 p.793-797 (Feb1992)

Margalef, R., "Ecología", Editorial Planeta, Barcelona (1992)

Allen D.T., "Pollution Prevention: Engineering Design at Macro, Meso and Microscales", Adv. Chem. Eng. Vol. 19 p.251-323 (1994)

Allen D.T. and N. Behnameh, "Wastes as Raw Materials", Industrial Ecology, B. Allenby, ed