

PROPUESTA METODOLÓGICA PRELIMINAR PARA EL DESARROLLO DE PROYECTOS DE SIMBIOSIS INDUSTRIAL

José Ramón Fernández Cubas

M^a Carmen Ruiz Puente

Elena Romero Arozamena

Grupo INGEPRO, Dpto. de Transportes y Tecnología de Proyectos y Procesos, Universidad de Cantabria.

Abstract

The purpose of this study is to tackle the preliminary design of a methodology that allows the redesign of industrial areas through Industrial Symbiosis mechanisms. Industrial symbiosis is a part of Industrial Ecology directed to the search of competitive advantages for industries by means of synergies implementation based on the substitution of flows, mutualization of services and creation/relocation of activities in order to minimize the input/output flows of the studied system. A synergy is an association among companies, favored by geographical proximity, for which they make a profit. In the methodological design there must be combined diverse tools of industrial ecology. The first stage consists of identifying the industrial activities in the studied zone to analyze the flow of materials, energy, water and costs. The supporting tool is a GIS (Geographic Information System), where industries are georeferenced because of the importance of spatial location in the implementation of synergies. Subsequently possibilities of synergies are identified based on qualitative flows. From the quantification of flows, technically viable synergies are selected. Finally an economic and environmental analysis about the different possible alternatives is done.

Keywords: *industrial ecology, industrial symbiosis, projects, methodology.*

Resumen

El propósito de este trabajo es abordar el diseño preliminar de una metodología que permita rediseñar áreas industriales mediante mecanismos de la Simbiosis Industrial. La simbiosis industrial es una rama de la ecología industrial encaminada a la búsqueda de ventajas competitivas para las industrias mediante el establecimiento de sinergias basadas en la sustitución de flujos, mutualización de servicios y creación/relocalización de actividades para minimizar los flujos de entrada y salida del sistema de estudio. Una sinergia es una asociación entre empresas, favorecida por la proximidad geográfica, por la cual se benefician las mismas. En el diseño metodológico se deben combinar diversas herramientas de la ecología industrial. La primera etapa consiste en identificar las actividades industriales en la zona de estudio para analizar los flujos de materiales, energía, agua y costes. La plataforma soporte es un SIG (Sistema de Información Geográfica), en donde se georreferencian las industrias, dada la importancia de la componente espacial en la implementación de sinergias. Posteriormente se establecen las posibilidades de sinergias basadas en flujos cualitativos. A partir de la cuantificación de los flujos, se seleccionan las sinergias técnicamente viables. Finalmente se realiza un análisis económico y ambiental de las diferentes alternativas posibles.

Palabras clave: *ecología industrial, simbiosis industrial, proyectos, metodología.*

1. Introducción

Las áreas industriales clásicas se han caracterizado tradicionalmente por localizar en una zona geográfica delimitada a grupos de industrias cuyas actividades económicas se desarrollan de manera individualizada (Lowe, 1997; Chertow, 2000). Estas actividades optimizan el beneficio económico a través de la mejora en el funcionamiento de sus procesos productivos, prescindiendo de las empresas situadas en la misma zona. El cálculo del beneficio obtenido externaliza los costes asociados al daño medioambiental producido en el desarrollo de su actividad. Esto genera una situación de ineficiencia en el consumo de materias primas, agua y energía, así como en la generación de residuos y emisiones por parte del sistema industrial. Cada empresa requiere de flujos entrantes para poder implementar su proceso industrial, donde se produce la transformación de los mismos para generar la unidad de servicio objetivo del proceso, el producto final. Desde la perspectiva del balance de flujos de entrada y salida, estos agentes económicos se comportan como sumideros de recursos y como fuentes de contaminación. Este modelo lineal provoca una situación grave de insostenibilidad, “no podemos continuar usando los materiales y recursos de la forma que lo hacemos ahora” (Graedel & Allenby, 2003, p. 5).

Este proyecto sugiere un cambio del sistema productivo, desde el actual comportamiento lineal, hacia economías circulares de cierre de ciclos, “desviando productos y materiales que de otro modo serían destinados a su vertido, hacia usos productivos” (Lifset, 2001). La Simbiosis Industrial (SI) es una rama integrada en el campo de la Ecología Industrial (EI), ciencia que analiza el funcionamiento de los sistemas industriales a semejanza de los ecosistemas naturales (Frosch & Gallopoulos, 1989), “por la cual la humanidad puede deliberada y racionalmente alcanzar y mantener la sostenibilidad, dando continuidad a la evolución económica, cultural y tecnológica.” (Graedel & Allenby, 2003, p. 18). Esta ciencia trata de reestructurar el sistema productivo, reorganizándolo hacia modelos de operación en los que el comportamiento del sector secundario sea compatible con el medio ambiente a largo plazo (Erkman, 2003, p. 339). Las estrategias de la SI plantean solucionar las ineficiencias de las áreas industriales actuales mediante mecanismos de mutualización y sustitución en el consumo de recursos (materiales, agua, energía, infraestructurales, logísticos y conocimiento) por parte de las actividades productivas (Mirata & Emtairah, 2005). Se basa en la creación de actividades de colaboración entre las empresas, denominadas sinergias, encaminadas a obtener ventajas competitivas haciendo que el beneficio colectivo del conjunto sea mayor que la suma de los beneficios que puedan alcanzar autónomamente. Esta implementación de sinergias se ve favorecida por la proximidad geográfica entre las mismas (Chertow, 2004). El producto final es el que reporta el beneficio económico, mientras que los recursos necesarios para su producción tienen asociados unos costes. Mediante el diseño e implementación de actividades sinérgicas en el sector industrial, se consigue reducir estos costes al alcanzar un uso más eficiente en la demanda de estos requerimientos. Focalizándolo de una manera pragmática dentro del sistema económico actual, la SI provoca ventajas competitivas, solucionando problemas medioambientales (Mirata & Emtairah, 2005), bajo la premisa de modificar el comportamiento autónomo de las industrias hacia modelos de cooperación dentro del sector productivo.

2. Objeto y justificación del trabajo

El objetivo del trabajo es establecer una metodología preliminar para el estudio y desarrollo de redes de SI a nivel regional. La identificación y definición de las diferentes etapas requiere un estudio multidisciplinar guiado por las herramientas de la EI. La metodología trata de establecer un marco de trabajo inicial sobre el que sustentar las etapas consecutivas a realizar para poder implementar proyectos de SI.

En el estudio, bajo la perspectiva de la SI, se fija como objetivo aumentar la eficiencia en el consumo de recursos por parte del sistema industrial analizado. Este fin se alcanza a través de la reducción de los flujos entrantes y salientes del sistema mediante la creación de actividades de cooperación. Las consecuencias derivadas del mismo son varias:

- Aumenta el grado de autoabastecimiento del área, disminuyendo la dependencia externa del sistema en el requerimiento de necesidades.
- Desmaterializa el sistema, para la misma cantidad de producto se consumen menos recursos.
- Se reducen los flujos residuales de salida, aumentando el comportamiento circular del sistema, siendo aprovechados como fuentes de flujos entrantes para otras actividades.
- Mejora el comportamiento ambiental del sistema, tanto por la menor demanda de recursos como por la reducción de los flujos residuales.
- Favorece el desarrollo económico del área, disminuyendo los flujos de costes asociados del sistema.

La SI, por lo tanto, actúa como un mecanismo de interrelación entre las empresas del sistema, integrando las diferentes actividades productivas con el fin de optimizar el proceso productivo global. Aclarando que la SI no analiza la mejora de los procesos individuales (de cada empresa), sino las sinergias a implementar inter empresarialmente para disminuir los flujos del sistema.

3. Marco de trabajo

En este punto se detallan los conceptos sobre los que se establecen las bases del estudio para el desarrollo del método.

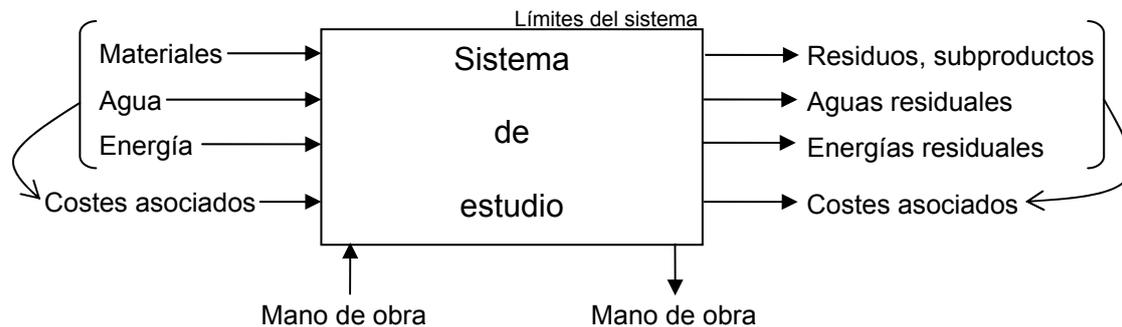
3.1 Sistema

El sistema de estudio planteado alberga únicamente a las actividades industriales del área, con el fin de identificar oportunidades de negocio medioambientalmente favorables que no estén siendo explotadas. Sin embargo, en el caso de la reconocida SI establecida en Kalundborg, también se establecieron actividades sinérgicas entre la industria y la localidad con el mismo nombre, integrando los metabolismos urbano e industrial (Chertow, 2000; Chertow, 2007; Graedel & Allenby, 2003). Por lo tanto, se podría plantear la identificación de grandes focos de consumo de recursos o fuentes de contaminación que no pertenezcan al sector secundario, integrando dentro de los límites del sistema el conjunto de actividades humanas que afecten al planeta (Graedel & Allenby, 2003, p. 19). No obstante, se escoge el primer planteamiento debido a que la SI es un campo en constante evolución cuyo concepto y límites no están aún muy bien delimitados, siendo la industria su principal objeto de estudio. Y por otro lado, de acuerdo a los medios y herramientas de las que se disponen, el delimitar el sistema inicialmente en busca de oportunidades de negocio en el sector industrial, hace más factible el análisis.

3.2 Flujos objeto del estudio

A continuación se detallan los flujos entrantes y salientes de nuestro sistema de estudio sobre los que actúan las actividades de colaboración que se analizan en el proyecto (Figura 1).

Figura 1: Representación del sistema y flujos objeto del estudio.



Dentro del grupo de **flujos de entrada** se engloban todas las corrientes de abastecimiento necesarias para la implementación de las actividades industriales (materiales de producto y de proceso):

- **Materiales:** mediante este flujo se integran todos los inputs necesarios entrantes al sistema de materias primas para el desarrollo de las actividades productivas de las empresas del estudio. Analizándolos tanto cuantitativa como cualitativamente.
- **Agua:** representa el consumo que de este recurso se realiza dentro de los límites de nuestro sistema por las diferentes empresas. Este flujo, además de ser cuantificado, se caracteriza de acuerdo a las calidades mínimas requeridas por parte de las diferentes empresas del sistema para su futura sustitución por aguas recirculadas.
- **Energía:** este flujo caracteriza los consumos energéticos de las diferentes industrias del sistema. La energía entrante al sistema se denomina primaria, esto es, o en forma de energía eléctrica o combustibles fósiles, para posteriormente ser transformada mediante procesos de conversión energética en las formas de consumo final en el proceso productivo (neumática, térmica, mecánica, etc.). Estos consumos finales en el proceso son flujos intermedios, no entrantes al sistema. Pero es necesario caracterizar de esta manera las corrientes energéticas para poder identificar mayor número de actividades de colaboración entre las industrias. Parámetros a definir del flujo serán temperaturas, presiones, caudales, entalpías, tiempos de consumo, etc.
- **Costes asociados a los flujos de entrada:** este flujo justifica el aumento de eficiencia que nuestro sistema experimenta al implementar sinergias de mutualización. Debido a que este tipo de actividades de colaboración pueden no afectar a ningún flujo físico, ya que inciden principalmente sobre los costes económicos que el abastecimiento de ese flujo implica para las actividades industriales. Estos costes son derivados de los valores de mercado del flujo, transportes, almacenamientos, acondicionamientos para su uso, etc.

Dentro del grupo de **flujos de salida** se integran las corrientes residuales asociadas a la producción del producto final:

- **Residuos-subproductos:** como explican Costa, Massard y Agarwal (2010) las legislaciones en muchas ocasiones representan barreras potenciales a la reutilización de residuos como materias primas. En la última década ha existido un gran debate legislativo para distinguir entre residuos y no residuos. La Directiva 98/2008/CE (Directiva, 2008) define un residuo como "cualquier sustancia u objeto del cual su poseedor se desprenda o tenga la intención o la obligación de

desprenderse”, que en sí mismo es poco clarificador. Sin embargo, esta directiva introduce un avance sustancial en nuevos conceptos como el de subproducto o fin de residuo, con el fin de fomentar su reutilización como recursos. Con lo que estas consideraciones permiten dar un valor económico a flujos que tradicionalmente eran vistos como un desecho por las empresas. Por lo tanto, la creación de sinergias de sustitución con residuos, aunque sigan teniendo que superar numerosos obstáculos legislativos a pesar de los avances mencionados, son posibles. Por lo que en esta corriente se integran, aparte del flujo de subproductos, el cual no tiene asociada problemática legislativa alguna para su intercambio, el flujo de residuos.

- **Aguas residuales:** son las aguas vertidas por las empresas del sistema. Son detalladas las características de los diferentes efluentes, tomando como referencia legislativa el Real Decreto 1620/2007 por el que se establece el régimen jurídico de la reutilización de aguas depuradas (Real Decreto, 2007).
- **Energías residuales:** son energías no aprovechadas por los procesos industriales, vertidas a pesar de su valor energético. Por ejemplo, la energía térmica vertida en las torres de refrigeración de cualquier proceso industrial, como el que se produce en una central térmica convencional. Los parámetros a medir de los diferentes efluentes energéticos residuales son los mismos citados anteriormente para el flujo de energía.
- **Costes asociados a los flujos de salida:** como se indicó previamente en el texto, el estudio analiza el flujo costes debido a que se pueden implementar sinergias que no afecten a un flujo físico, sino al flujo económico asociado al mismo. Los costes son derivados del desprendimiento del flujo por parte de las actividades industriales. Tales gastos dependiendo del flujo pueden ser debidos a almacenamientos, tratamientos de acondicionamiento para vertido, retirada del flujo residual, transporte, etc.

Finalmente, mencionar la presencia de otro flujo analizado en el estudio, el flujo de **mano de obra**. Representa a los trabajadores que entran y salen de los límites del sistema. La implementación de sinergias sobre este flujo no mejora la eficiencia, ya que no es un flujo objetivo del método, simplemente se plantean rutas de traslado conjunto de los mismos hacia sus puestos de trabajo. Estos sistemas comunes de traslado reducen las externalidades ligadas al tráfico, tales como las pérdidas de tiempo por congestiones de la red, problemas de salud ligados al ruido y a la contaminación atmosférica, etc.

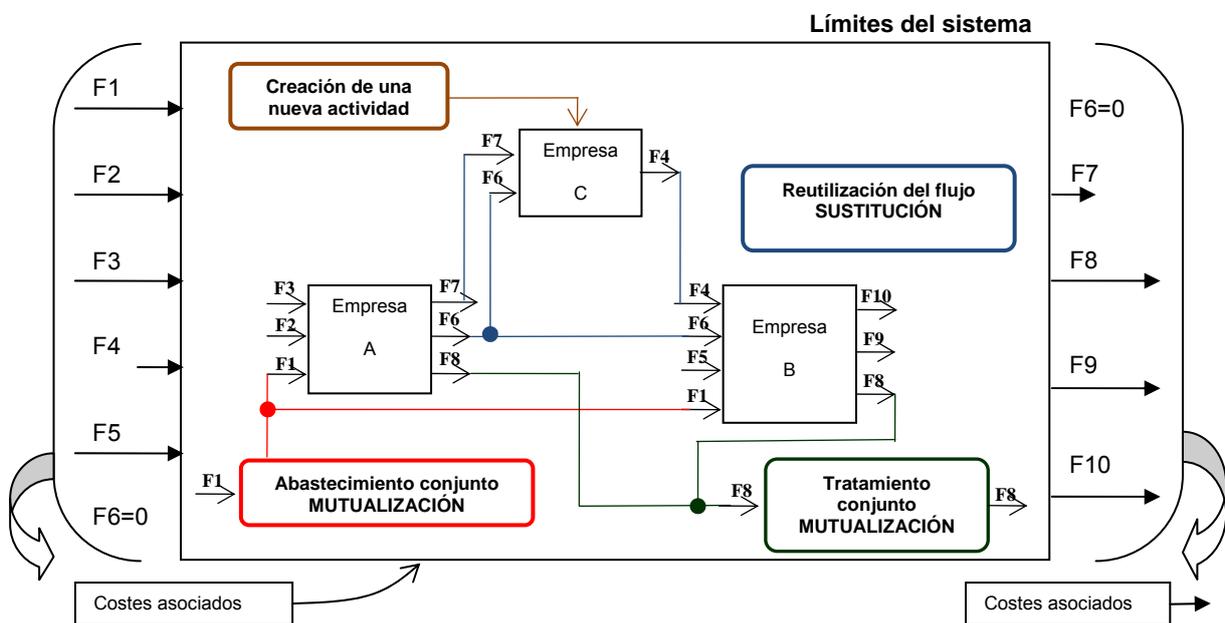
3.3 Mecanismos de acción

Chertow, Ashton y Espinosa (2008) consideran tres oportunidades primarias de colaboración en el intercambio de recursos: reutilización de subproductos, utilidad-infraestructura compartida y provisión conjunta de servicios. No obstante, en otros proyectos como el Ecosind (2006) o el desarrollado en Ginebra (Massard & Erkman, 2007), se clasifican las oportunidades de colaboración anteriores en dos grandes grupos denominados actividades de mutualización y de sustitución, desarrollados en el presente estudio. Son definidos como los mecanismos de acción (figura 2), a través de los cuales se identifican las posibilidades sinérgicas entre los diferentes actores del sistema:

- **Mecanismos de sustitución:** integran todos aquellos intercambios de flujos físicos entre actividades del sistema. Lo que por una industria es visto como flujo residual, para otra puede suponer un abastecimiento de recursos para su proceso productivo mediante su reutilización. Este reaprovechamiento sustituye parte del flujo original entrante al sistema por un flujo residual del propio sistema, con lo que disminuimos el consumo de requerimientos por parte del conjunto. Esta implementación de sinergias de sustitución fortalece el cierre de ciclos, aumentado la recirculación de los flujos dentro del sistema.

- **Mecanismos de mutualización:** equivalentes a las oportunidades citadas anteriormente de utilidad-infraestructura compartida y a la provisión conjunta de servicios. El concepto integra al compendio de infraestructuras o servicios requeridos por las empresas del sistema cuyo uso pueda realizarse de manera conjunta, reduciendo la demanda de recursos. El flujo principal sobre el que actúan este tipo de sinergias es el económico, no afectando tan directamente al físico. Al gestionar actividades conjuntamente, las industrias reducen los costes asociados a los flujos físicos, debido a las economías de escala y a un uso más eficiente de los recursos logísticos e infraestructurales principalmente. La reducción del flujo físico asociado al flujo costes correspondiente puede producirse debido a la implantación de nuevos equipos más eficientes para el suministro del servicio, como por ejemplo, una nueva caldera que provisione conjuntamente a dos actividades del vapor que requieren para su proceso.
- **Creación/relocalización de actividades:** este mecanismo nos permite la implementación de sinergias tanto de mutualización como de sustitución. Se basa en la creación de nuevas actividades o relocalización de las mismas dentro del sistema, debido a la existencia de importantes oportunidades de negocio en determinadas zonas del área. Estas ventajas relativas al traslado del establecimiento productivo, deben de compensar los gastos y riesgos asumidos por parte de la empresa al cambiar su ubicación espacial (Sterr & Ott, 2004). Las nuevas actividades sólo serán implantadas en el sistema si contribuyen a la mayor sostenibilidad del conjunto.

Figura 2: Representación del comportamiento del sistema bajo la creación de actividades de colaboración entre las empresas a través de los mecanismos de acción.



Nota: Donde F1, F2, F3, F4, F5 Y F6 son los flujos físicos entrantes al sistema (FFE) y F6, F7, F8, F9 y F10 son los flujos físicos salientes del mismo (FFS). Los costes asociados a los flujos físicos F1, F4, F6, F7 y F8 son reducidos, así como los flujos físicos F4, F6 y F7.

3.4 Objetivo de la Metodología

Como se citó con anterioridad, el objetivo es el de reducir los consumos de recursos y generación de flujos residuales por parte del sistema de estudio mediante la implementación

de actividades de colaboración entre las empresas, a través de la identificación de oportunidades de negocio que no estén siendo explotadas.

Las actividades de colaboración entre las industrias no son algo nuevo. Las empresas se surten de los productos de otras para el desarrollo de sus procesos. Estas relaciones se estudian en los análisis económicos de entradas y salidas (IOA). Los cuales determinan las entradas directas e indirectas procedentes del sistema industrial para producir la unidad económica de producto final de un sector industrial determinado (Bailey, Allen & Bras, 2004). Sin embargo, el concepto de **sinergia** busca un beneficio mutuo entre las empresas participantes de la misma, mediante la recirculación de flujos residuales (no producto final) o combinación de servicios. Las cooperaciones a crear entre los diferentes actores del sistema, actúan sobre los flujos definidos (apartado 3.2) a través de los mecanismos de acción citados (apartado 3.3). En numerosas ocasiones, durante la revisión de redes de SI operativas actualmente, no es fácil discernir si esas actividades de colaboración pueden ser denominadas sinergias, siendo pequeños matices los que en ocasiones diferencian las actividades tradicionales de colaboración entre los sectores industriales y la implementación de sinergias buscada por la SI.

La disminución en el consumo de flujos entrantes al sistema de estudio es objetivo del estudio. Mediante la siguiente ecuación se expresa el aumento de la eficiencia del conjunto ($\Delta\eta FFE_i$) en el consumo del flujo físico entrante i (FFE_i):

$$\Delta\eta FFE_i = \frac{FFE_{i0} - FFE_{i1}}{FFE_{i0}} \quad (1)$$

Este aumento de la eficiencia desde la situación inicial (FFE_{i0}) de comportamiento autónomo de las industrias, hasta la situación final (FFE_{i1}), es debido a la reducción de su entrada por la creación de sinergias entre las empresas. Si se desprecian las disminuciones debidas a las actividades de mutualización, la reducción es producida por la recirculación de n flujos residuales j del sistema ($\sum_{j=1}^n FFS_{jrecirculado}$). La ecuación 1 puede ser expresada como:

$$\Delta\eta FFE_i = \frac{FFE_{i0} - FFE_{i1}}{FFE_{i0}} = \frac{\sum_{j=1}^n FFS_{jrecirculado} \times \eta_j}{FFE_{i0}} \quad (2)$$

Siendo η_j un rendimiento del aprovechamiento final del flujo recirculado j ($FFS_{jrecirculado}$). Consecuentemente, el aumento de la eficiencia del flujo físico residual j ($\Delta\eta FFS_j$) que representa la disminución del flujo residual saliente j del sistema (FFS_j), viene dada por la ecuación 3:

$$\Delta\eta FFS_j = \frac{FFS_{j0} - FFS_{j1}}{FFS_{j0}} = \frac{\sum_{j=1}^n FFS_{jrecirculado}}{FFS_{j0}} \quad (3)$$

Centrándose ahora en los flujos de costes asociados al flujo físico i de entrada (FCE_i), el aumento de la eficiencia del sistema ($\Delta\eta FCE_i$) tiene la misma forma que la ecuación 1 y será debido tanto a las sinergias de mutualización como de sustitución implementadas sobre el flujo:

$$\Delta\eta FCE_i = \frac{FCE_{i0} - FCE_{i1}}{FCE_{i0}} \quad (4)$$

Siendo el flujo de costes asociados al flujo físico entrante i en la situación inicial (FCE_{i0}) mayor que en el escenario final de cooperación entre las industrias (FCE_{i1}).

La forma de esta ecuación para el flujo de costes asociados al flujo físico j de salida posee la misma estructura:

$$\Delta\eta FCS_j = \frac{FCS_{j0} - FCS_{j1}}{FCS_{j0}} \quad (5)$$

Finalmente, se define un parámetro de caracterización para diferenciar las sinergias de acuerdo a su tipología, atendiendo a su grado de actuación sobre el flujo físico o económico asociado al mismo, ya sea la corriente de entrada o salida, de la siguiente manera:

$$PC = \frac{\Delta\eta FF_i}{\Delta\eta FC_i} \quad (6)$$

Siendo ambos incrementos de eficiencia, tanto el experimentado por el flujo físico ($\Delta\eta FF_i$) como el producido en el de costes asociados ($\Delta\eta FC_i$), los provocados por la sinergia implementada sobre el flujo i :

- Si $PC \geq 1$ la sinergia es de sustitución, dado que actúa principalmente sobre el flujo físico. Siendo 1 el límite, caso en el que la reducción de los costes asociados a ese flujo se produce en la misma proporción que la reducción del flujo físico.
- Si $PC < 1$ la actividad sinérgica es de mutualización, debido a que prácticamente no actúa sobre el flujo físico, sino sobre el flujo de costes asociado al mismo.

4. Método

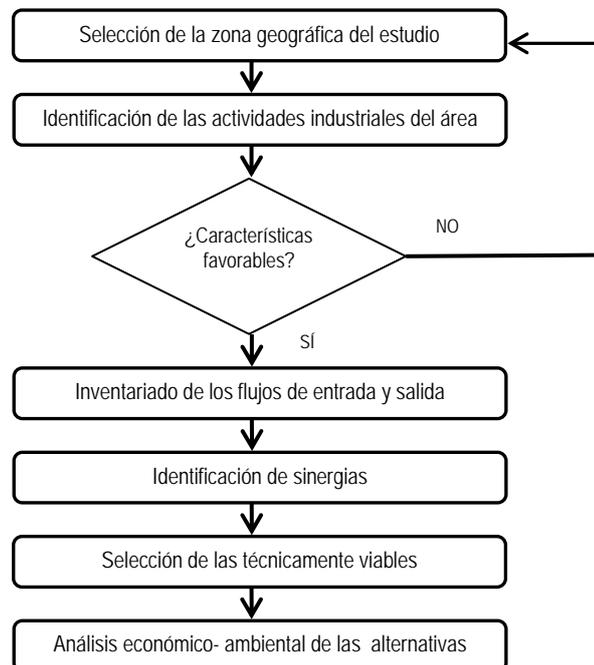
En este apartado se plantea el método para estructurar las fases a realizar en la implementación del estudio. Éste, pretende integrar el marco de trabajo y conceptos anteriormente definidos. La figura 3 esquematiza las etapas consecutivas del método que posteriormente son explicadas en cada apartado.

4.1 Selección de la zona geográfica del estudio

En general, la SI se produce entre empresas ubicadas local o regionalmente, dada la importancia de la proximidad geográfica. Como explica Chertow (2004), al aumentar la distancia a recorrer por las corrientes para implementar las sinergias, el potencial del intercambio disminuye, debido a los costes derivados del transporte. La distancia máxima para que la sinergia siga siendo económicamente factible, dependerá de la naturaleza (cuantitativa y cualitativa) del flujo a ser intercambiado. Por lo tanto, queda establecida la relatividad del concepto escala espacial factible en la implementación de sinergias. En la elección de la escala geográfica para la creación de redes de SI se deben de tener en cuenta numerosos factores, siendo la escala regional la unidad geográfica que mejor resultado global obtiene.

Por un lado, se puede establecer que a medida que aumentamos la escala espacial del sistema, las oportunidades de encontrar actividades complementarias se incrementan, dado el mayor número y variedad de empresas localizadas en el área. Así que el grado de

Figura 3: Esquema de las etapas del método



complementariedad para implementar sinergias entre los actores es importante a nivel regional. Otros factores como la claridad de información y el nivel de confianza entre las empresas no llegan a los valores que se alcanzan a nivel local, aún así se mantienen lo suficientemente altos como para escoger la escala regional como unidad adecuada para el desarrollo de proyectos de SI. Otra característica a tener en cuenta en la elección de la escala son las políticas y estrategias de planificación, el nivel regional aporta la escala justa como para poder acogerlas y ser capaz de organizar a la sociedad de manera más efectiva que a nivel nacional. Por último, los directivos y trabajadores de las empresas, además de realizar su trabajo en el área, suelen habitar en ella, con lo que perciben las mejoras medioambientales y sociales derivadas de las actividades sinérgicas entre las industrias, contribuyendo al desarrollo de la comunidad en la que viven. Con lo que la escala regional tiene un enorme potencial para reutilizar y reciclar materiales dentro de sus límites. (Sterr & Ott, 2004; Mirata & Emtairah, 2005).

Finalmente, apuntar que bajo la premisa de crear oportunidades de negocio solucionando problemas medioambientales, es interesante tener en cuenta en la elección del área geográfica la naturaleza y tipología de las actividades industriales que alberga. Primando aquellas regiones cuyas empresas sean importantes focos de degradación medioambiental.

4.2 Identificación de las actividades industriales del área

El siguiente paso a realizar es el de identificar las actividades industriales de la zona de estudio. La identificación no consiste únicamente en el listado de las diferentes razones sociales de las empresas implantadas en el área, sino que resulta interesante el clasificarlas según su código de actividad económica (CNAE) y obtener sus coordenadas espaciales.

Conocer el código de las actividades económicas que desarrollan las industrias, permite saber de antemano datos sobre los flujos de los procesos industriales de las mismas de acuerdo a estadísticas generales (Nobel & Allen, 2000; Massard & Erkman, 2007). Así como

el poder identificar aquellas zonas en las que el nivel de complementariedad entre las industrias del área sea elevado, basándose en la revisión de proyectos de SI realizados con anterioridad.

La obtención de las coordenadas espaciales resulta un dato principal de la metodología. Como ya se ha mencionado, en la implementación de actividades de colaboración entre los diferentes actores, sus localizaciones espaciales son de primordial relevancia, dada la importancia de la distancia relativa entre las actividades para la viabilidad económica de la sinergia. Mediante estas coordenadas, las actividades son georreferenciadas en un Sistema de Información Geográfica (SIG). Las industrias se encuentran localizadas en una base de datos espacial junto con numerosa y diversa información cartográfica del medio que las alberga, de considerable interés para siguientes etapas de la metodología.

Por otro lado, mencionar que el nombre de la etapa, es debido al enfoque industrial del estudio, centrándose en el metabolismo del sector secundario de la región, como se explicó anteriormente (punto 3.1).

Para concluir, aclarar que esta fase del método retroalimenta a la primera etapa de la metodología, con el fin de que el área geográfica escogida para el proyecto tenga unas características generales favorables para la realización de este tipo de estudios.

4.3 Inventariado de los flujos objeto del estudio

Durante la realización de esta etapa se realiza un inventario de los flujos de entrada y salida de las diferentes actividades industriales del sistema. La recolección de datos se debe realizar tanto cualitativa como cuantitativamente para las corrientes objeto del estudio, de acuerdo a los criterios mencionados (punto 3.2). Este estudio permite obtener un análisis metabólico del sistema.

4.4 Identificación de sinergias

Esta fase identifica las diferentes posibilidades de sinergia a implementar entre las diferentes industrias del sistema. La identificación se realiza a partir de los flujos cualitativos entrantes y salientes de las empresas. El desarrollo de herramientas para facilitar esta etapa del método es un factor importante a la hora de potenciar la creación de redes de SI. La estructura de la herramienta es una base de datos relacional. Ésta busca por un lado coincidencias entre las corrientes entrantes o salientes, para determinar las oportunidades de mutualización de infraestructura o servicios. Y por otro lado, rastrea entre los flujos entrantes y salientes de las diferentes empresas del sistema, en busca de posibles actividades de sustitución, como la distribución en cascada de agua o energía. Al final de la etapa, se tienen identificadas todas las posibilidades sinérgicas a partir de los flujos definidos, entre las diferentes empresas.

4.5 Selección de las técnicamente viables

Dentro de las diferentes posibilidades de sinergia identificadas en la etapa anterior del método, existe un grupo que no puede ser proyectado para su realización debido a su inviabilidad técnica. Atendiendo a la naturaleza de los flujos y a sus cantidades, las actividades de colaboración pueden tener asociados obstáculos técnicos. Factores tales como los geográficos, tecnologías inviables, cantidades de flujo insuficientes o propiedades de flujos no compatibles provocan que el intercambio no posea una viabilidad técnica adecuada.

4.6 Análisis económico-ambiental de las alternativas

Como su propio nombre indica, esta última fase del método estudia económica y ambientalmente las diferentes sinergias técnicamente viables.

Por un lado, el estudio económico analiza el posible beneficio económico o ahorro de costes derivados de las diferentes actividades de colaboración. Éste debe tener en cuenta numerosos factores atendiendo a la naturaleza del intercambio (nuevos procesos, nueva infraestructura, etc.) si fuera necesario. Lo ideal es que estas sinergias puedan llegar a ser actividades de colaboración a largo plazo, por ello son buscadas situaciones de beneficio equiparable para las partes integrantes de la misma (Sterr & Ott, 2004).

Por otro lado, el proyecto trata de buscar oportunidades de negocio solucionando problemas medioambientales. Tales como la reducción en el consumo de recursos y la disminución en la generación de contaminación por parte del conjunto de actividades del sistema (vertidos al suelo, vertidos al agua y emisiones a la atmósfera). Las mejoras pueden ser medidas mediante sistemas de indicadores, o de una manera más analítica mediante el uso de herramientas de análisis del ciclo de vida.

5. Conclusiones

El avance de metodologías para el desarrollo de proyectos de SI incentiva la implementación de redes de colaboración entre las industrias. Este rediseño del sistema secundario conlleva unas mejores condiciones de operatividad. Como consecuencia, se provocan ventajas competitivas para los participantes de la red.

El desarrollo de los métodos, técnicas y herramientas necesarias supone una importante evolución, siendo las fuerzas del mercado las que incrementan el progreso de las redes de SI. No obstante, este desarrollo se encuentra limitado sin el apoyo por parte de los organismos políticos, que hagan que la implementación de sinergias con positivo potencial medioambiental sea económicamente rentable (Costa, Massard & Agarwal, 2010). Las actividades industriales tratan de optimizar sus beneficios de acuerdo a las reglas establecidas por estos organismos. Con lo que el poder de actuación por parte de estos entes en el desarrollo de este campo es de primordial relevancia.

6. Referencias

- Bailey, R., Allen, J. K., & Brass, B. (2004). Applying ecological input-output flow analysis to material flows in industrial systems. Part I: Tracing flows. *Journal of Industrial Ecology*, 8 (1-2), 45-68.
- Chertow, M.R. (2000). Industrial symbiosis: Literature and taxonomy. *Annual Review of Energy and the Environment*, 25, 313-337.
- Chertow, M.R. (2004). Industrial symbiosis. *Encyclopedia of Energy*, 3, 407-415.
- Chertow, M. R. (2007). Uncovering industrial symbiosis. *Journal of Industrial Ecology*, 11 (1), 11-30.
- Chertow, M. R., Ashton, W. S., & Espinosa, J. C. (2008). Industrial symbiosis in Puerto Rico: Environmentally related agglomeration economies. *Regional Studies*, 42 (10), 1299-1312.
- Costa, I., Massard, G., & Agarwal, A. (2010). Waste management policies for industrial symbiosis development: case studies in European countries. *Journal of Cleaner Production*. doi:10.1016/j.jclepro.2009.12.019
- Directiva. (2008). Directiva 2008/98/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 19 de noviembre de 2008 sobre residuos y por la que se derogan determinadas Directivas.

- Publicado en el Diario oficial de la Unión Europea, L 312, del 22 de noviembre de 2008, (págs. L 312/3-L 312/30).
- Erkman, S. (2003). Perspectives on industrial ecology. En D. Bourg & S. Erkman (Eds.), *Perspectives on industrial ecology* (págs. 338-342). Sheffield, UK: Greenleaf Publishing Limited.
- Ecosind. (2006). *Guide de recommandations pour la planification et la gestion des zones industrielles avec l'écologie industrielle*. Obtenido el Diciembre 20, 2009, de http://www.gencat.cat/mediamb/sosten/ecosind/fr/1_4_documents.html
- Frosch, R., & Gallopoulos, N. (1989). The industrial ecosystem view. *Scientific American*, September 1989, 145-155.
- Graedel, T. E., & Allenby, B. R. (2003). *Industrial ecology* (2^a ed). New Jersey, NJ: Pearson Education, Inc.
- Lowe E.A. (1997). Creating by-product resource exchanges: strategies for eco-industrial parks. *Journal of Cleaner Production*, 5 (1-2), 57-65.
- Lifset, R. (2001). Closing the loop and honing our tools. *Journal of Industrial Ecology*, 5 (4), 1-2.
- Massard, G., & Erkman, S. (2007). A regional industrial symbiosis methodology and its implementation in Geneva, Switzerland. En *3rd International Conference on Life Cycle Management from Analysis to Implementation*. Zurich, Switzerland.
- Mirata, M., & Emtairah, T. (2005). Industrial symbiosis networks and the contribution to environmental innovation: The case of the Landskrona industrial symbiosis programme. *Journal of Cleaner Production*, 13, 993-1002.
- Nobel, C.E., & Allen, D.T. (2000). Using geographic information systems (GIS) in industrial water reuse modelling. *Trans. IChemE*, 78, Part B, 295-303.
- Real Decreto. (2007). Real Decreto 1620/2007, de 7 de diciembre, *por el que se establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas*. Publicado en el BOE núm. 294, del sábado 8 de diciembre de 2007, (págs. 50639-50661).
- Sterr, T., & Ott, T. (2004). The industrial region as a promising unit for eco-industrial development - reflections, practical experience and establishment of innovative instruments to support industrial ecology. *Journal of Cleaner Production*, 12, 947-965.

Correspondencia (Para más información contacte con):

Grupo de Investigación INGEPRO.

Phone: + 942/ 201789

Fax: + 942/ 201789

E-mail : fernandezjr@unican.es, ruizpm@unican.es, romeroe@unican.es

URL : <http://www.unican.es/srv/GruposInves/DetalleGrupoFrw.aspx>