

## MODELS OF CYCLIC METABOLISM AND ASSOCIATED ENERGY PROCESS IN INDUSTRIAL ECOSYSTEMS WITH INTELLIGENT AGENTS

Martín Gómez, Alejandro Manuel; Aguayo González, Francisco; Lama Ruiz, Juan Ramón; Marcos Bárcena, Mariano; Peralta Álvarez, María Estela

Universidad de Sevilla

Actually there are several alternatives to products and systems design that in the end of its life are integrated into Technosphere or Natursphere metabolism. Among these techniques is Ecodesign, Industrial Ecology, LCA, C2C, clean production from the design phase and direct manufacturing, etc. In inverse manufacturing phase there are different approaches such as recycling or byproducts and substances, whose management allows contacting the technosphere productive agents in order to close cycles. These tasks have requirements for exchange of information and knowledge for closing cycles is required in response to eco-compatibility, toxicity, and energy efficiency. In this paper the state of the art of closing cycles on the technosphere in inverse manufacturing is formulated and a proposed management communication process is performed. This is done by outlining ontology of knowledge based on intelligent agents to provide support inverse manufacturing based in closed cycles on the technosphere or natursphere, eco-compatible and efficient in energy process.

**Keywords:** *By-products; Inverse Manufacturing; Ontology of Knowledge to Inverse Manufacturing Cyclic; Intelligent Agents*

## MODELOS DE METABOLISMO CÍCLICO Y PROCESOS ENERGÉTICOS ASOCIADO EN ECOSISTEMAS INDUSTRIALES CON AGENTES INTELIGENTES

En la actualidad existen diversas alternativas para concebir productos y sistemas que al final de su vida se integren al metabolismo de la Tecnoesfera o de la Naturesfera. Entre estas técnicas se encuentra el Ecodiseño, Ecología Industrial, ACV, C2C, producción limpia en la fase de diseño y manufactura directa. En la fase de manufactura inversa existen distintos enfoques tales como reciclaje o las bolsas de subproductos y subsustancias, cuya gestión permite poner en contacto a los agentes productivos de la tecnoesfera al objeto de cerrar ciclos. Estas tareas tienen requerimientos de intercambio de información y requieren conocimiento para el cierre de los ciclos en atención a la ecocompatibilidad, toxicidad y eficiencia energética. En el presente trabajo se formula el estado del arte del cierre de ciclos sobre la tecnoesfera en la manufactura inversa y se realiza una propuesta de gestión de los procesos de comunicación, esbozando una ontología de conocimiento con agentes inteligentes que de soporte a la manufactura inversa basada en ciclos cerrados sobre la tecnoesfera o naturesfera, ecocompatibles y con eficiencia en procesos energéticos.

**Palabras clave:** *Bolsas de Subproductos; Manufactura Inversa; Ontología de Conocimiento para Manufactura Inversa Cíclica; Agentes Inteligentes*

Correspondencia: [alejandrommartin@gmail.com](mailto:alejandrommartin@gmail.com)

## 1. Introducción

La ecología industrial, definida por primera vez por Frosch y Gallopoulos (1989), pretende transformar la relación lineal de los sistemas productivos en un ciclo cerrado que imite las cadenas circulares de los ecosistemas naturales, aportando un marco de trabajo global para conseguir que el sistema industrial se convierta en sostenible, integrándolo en el medio ambiente y no permitiendo que opere ajeno a los límites naturales o a la capacidad de acogida y carga del planeta.

El flujo de recursos (energía, materiales y sustancias) de la industria se ha basado en el uso de combustibles fósiles y la degradación de la materia prima, sin considerar la capacidad de acogida del planeta ni la tasa de renovación de los ecosistemas implicados en la extracción y generación de recursos. Es por ello, que para un cambio gradual de la industria convencional a la ecoindustria, es necesario restablecer los niveles de recursos que cada ecosistema ha aportado a la fabricación masiva e invertir el daño causado por las actuaciones humanas.

El ecosistema industrial debe basarse en el uso sostenible de los recursos naturales renovables creando flujos cerrados de materia. Este cierre de ciclos de materia implica a su vez un uso eficiente de la energía, la desmaterialización y evitar el empleo de sustancias peligrosas y tóxicas.

Los flujos industriales que se diseñan para la obtención de los productos deben tener la misma adaptación que presentan los ecosistemas naturales. Se plantean dos tipos de nutrientes (grupos de materiales pertenecientes a un mismo flujo o ciclo): los biológicos, asociados a la naturaleza, y los técnicos, asociados a la tecnosfera. Los asociados a la naturaleza (como el papel, la madera, o textiles naturales) son nutrientes donde no cabe la concepción de sustancias tóxicas, xenobióticas o perjudiciales para el medio ambiente (Aguayo et al., 2011). Por el contrario, los asociados a la tecnosfera son los materiales que no pueden ser absorbidos por la naturaleza.

El cierre de ciclo para el aprovechamiento total de los materiales 100% reutilizables tiene un alto grado de importancia para el desarrollo sostenible, puesto que la extracción de nuevos recursos conlleva grandes impactos ambientales y elevadas cantidades de energía empleada en la transformación de la materia prima. Los materiales tóxicos, además, provocan un daño posterior a su uso por las sustancias que lo componen.

De ahí la importancia de establecer políticas sostenibles y estrategias de empresa que incentiven a las empresas a utilizar materiales con un ciclo de vida cerrado y a que cierren el ciclo de vida de sus procesos de fabricación.

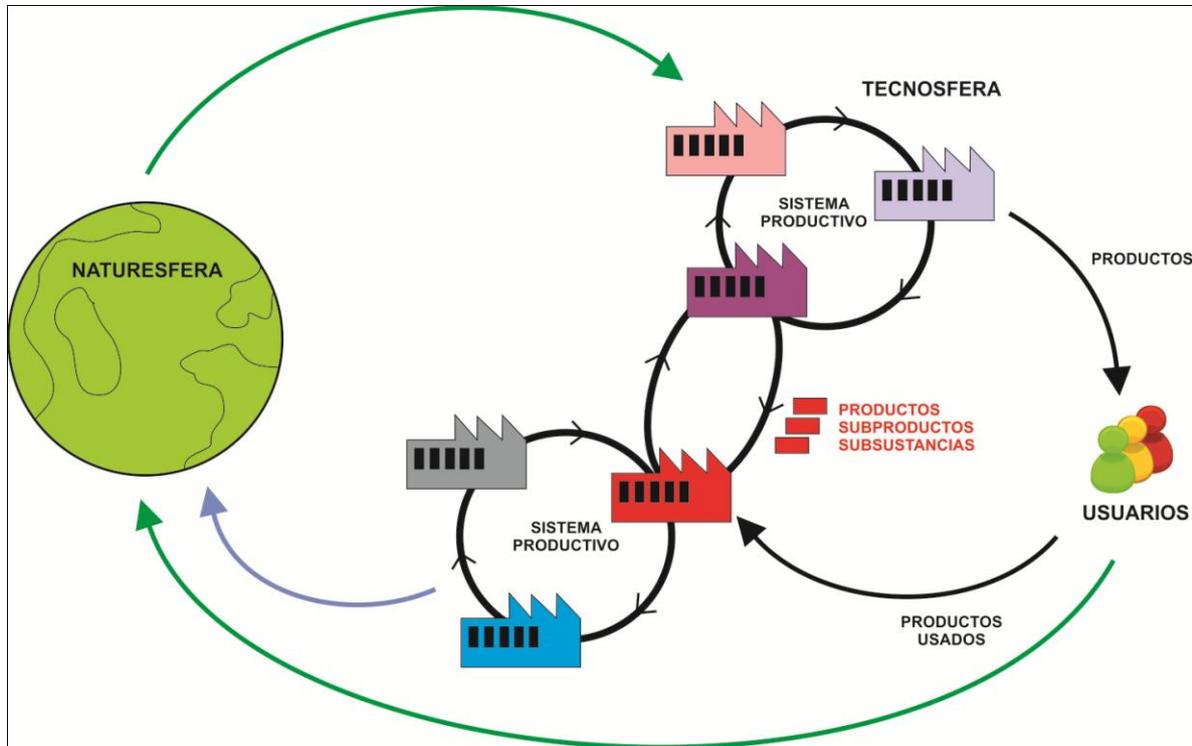
## 2. Objetivos

En el presente trabajo se establece el estado del arte del cierre de ciclos sobre la tecnosfera en la manufactura sostenible, así como el empleo de sistemas de fabricación inteligente que den soporte a este cierre de ciclos. Concretamente se realiza una revisión del uso de los agentes inteligentes y sistemas multiagente como soporte de los sistemas de fabricación inteligentes aplicados a la manufactura sostenible. Se establece una revisión de los principales grupos de investigación cuyas líneas de investigación se centran en el estudio de la ecología industrial y su implementación mediante estos sistemas de fabricación inteligentes.

Se propone así mismo un modelo basado en sistemas multiagente que posibilite el cierre de ciclos sobre la tecnosfera en la manufactura sostenible, realizando una propuesta de gestión de los procesos de comunicación, esbozando una arquitectura con agentes inteligentes que de soporte a la manufactura sostenible basada en ciclos cerrados sobre la

tecnosfera o naturaleza, ecocompatibles y con eficiencia en procesos energéticos, tal y como se muestra en la figura 1.

Figura 1. Modelo de gestión para el cierre de ciclos



### 3. Estado del Arte

El proyecto internacional IMS2020 (IMS2020, 2010) establece cinco áreas claves de actuación: fabricación sostenible, fabricación eficiente de la energía, tecnologías claves (robótica, nanofabricación, etc.), estandarización, e innovación, desarrollo de competencias y educación. Las líneas de investigación están orientadas a la incorporación y mejora de los sistemas de fabricación inteligente a cada una de las áreas. Entre sus principales líneas de investigación se encuadran el ciclo de vida sostenible de los productos y sistemas de producción, sostenibilidad en la pequeña y mediana empresa, optimización de materiales reutilizables, diseño de la cadena de suministro sostenible, etc.

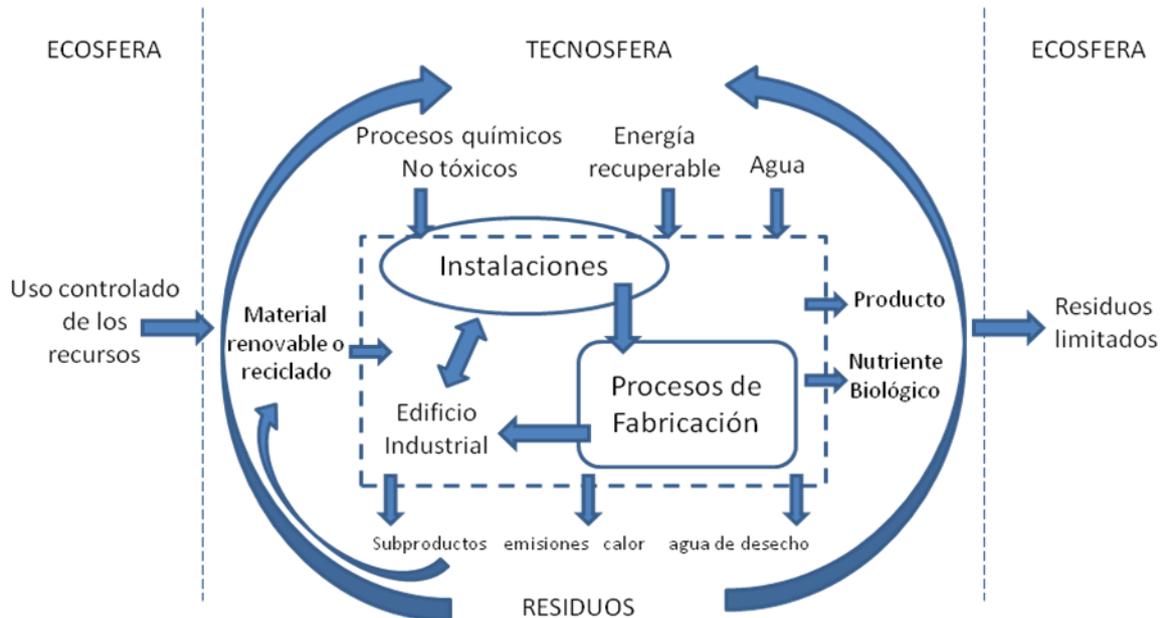
El proyecto IMS2020 pone de manifiesto el interés por la incorporación de los sistemas de fabricación inteligente a las PYMEs. En el presente contexto económico, se hace necesario facilitar herramientas que aporten innovación y sistemas para el soporte de decisiones que permitan ayudar a la pequeña y mediana empresa a mejorar sus funciones. Estas herramientas y métodos deben contribuir a mejorar los mecanismos de control de negocio, reducir los riesgos mediante la predicción de situaciones indeseadas y facilitando recomendaciones basadas en experiencias previas (Bajo & Borrajo, 2012).

#### 3.1. Ecología Industrial

La ecología industrial es una práctica de gestión ambiental encaminada a transformar el sistema industrial en analogía con un sistema natural. Este nuevo marco de trabajo persigue convertir el sistema industrial en un sistema sostenible. Plantea la gestión de entradas y salidas de un sistema, con el objetivo de conseguir eliminar el concepto de residuo, haciendo que los desechos de unos procesos sean recursos de otros. La estructura lineal

del sistema industrial tradicional es transformada en un ciclo cerrado de materia y sustancias, impulsando las interacciones entre economía, ecología y sociedad e incrementando la eficiencia de los procesos industriales.

**Figura 2. Modelo de ecosistema de fabricación con los tres componentes y flujos (MED)**



Fuente: Despeisse et al. (2012).

Existen en la actualidad investigaciones sobre la dinámica de los modelos de ecología industrial a través de los cuales se proponen proyectos de acción para crear ecosistemas y ecoparques industriales. Despeisse et al. (2012) propone un modelo de ecosistema de fabricación, ver figura 2, que considera los flujos de materiales, energía y desechos provenientes de los procesos, junto con las interacciones con tres componentes (operaciones, instalaciones y envolvente del edificio). Haciendo uso del mapa de procesos es posible identificar los flujos de materiales, energía, y desechos y hacer visible las oportunidades de uso de las salidas de algunas actividades como entradas de otras a fin de reducir el consumo neto. Estos principios de recuperación y reutilización de desechos, energía y sustancias repercuten en una reducción de los costes y el impacto ambiental, pudiendo ser aplicados a través de toda la instalación.

Es posible encontrar diferentes denominaciones para experiencias similares dentro del ámbito de la Ecología Industrial (Valero & Usón, 2011), que aunque presentan características sensiblemente diferentes tienen muchos puntos en común, como es la simbiosis industrial, la sinergia industrial, las redes y sistemas de reciclaje, las bolsas de subproductos, el clúster de cero emisiones, los ecoparques industriales, las cadenas de suministro sostenible por ciclo cerrado, análisis del ciclo de vida desde perspectivas integradoras, el modelado de los flujos metabólicos de las ecoindustrias, el desarrollo ecoindustrial, etc.

El concepto de simbiosis industrial hace referencia al intercambio de residuos y subproductos que indeseables para una industria llegan a ser materia prima de otra, y su implantación promueve una red de empresas.

El ecoparque industrial es una zona en la que las empresas cooperan persiguiendo los objetivos de la ecología industrial.

Los términos simbiosis y sinergia enfatizan en los beneficios mutuos que obtienen las industrias por el intercambio de subproductos, mientras que el término metabolismo expresa cómo los diferentes subproductos son sintetizados por cada industria obteniendo un aprovechamiento de estos.

El metabolismo industrial es 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, 1994). Está dirigido a la comprensión de la circulación de los flujos de materiales y energía (y stocks) vinculados a la actividad humana, desde su extracción inicial a su inevitable reintegración en los ciclos biológicos globales.

A continuación se añade un listado de ejemplo de ecoparques en los diferentes continentes:

- Europa: Kalundborg, MESVAL, Styria, Ora Eco-Park, Jyväskylä, Progetto.
- Asia: Bungangan Baru, Naroda, Nandeseri IE, Thane-Pelapur, Calabarzon.
- América: By-product Synergy, Tampico, Burnside, The Bruce Energy Center, Devens, Brownsville.

### **3.2. Agentes Inteligentes y Sistemas Multiagentes**

Paralelamente a la investigación que se está desarrollando en el campo de la sostenibilidad, aparece la investigación de los sistemas de fabricación inteligentes (Aguayo et al., 2007) como oportunidad para dar soporte y materializar los modelos sostenibles desarrollados, gracias a las bondades que presentan estos sistemas. Los sistemas de fabricación inteligentes, y concretamente los agentes inteligentes y sistemas multiagente, están siendo actualmente objeto de estudio por parte de grupos de investigación internacionales (como el Institute of Environmental Sciences (CML) de la Universidad de Leiden o el grupo de investigación Industrial Ecology & Systems Sustainability de la Universidad de Queensland) para su aplicación directa en la gestión sostenible de procesos, ecoindustrias y ecoparques industriales. Así mismo, trabajos recientes aportan propuestas de modelos y arquitecturas basadas en agentes inteligentes que dan soporte a los distintos aspectos de la ingeniería del metabolismo industrial (Bichraoui, Guillaume & Halogb, 2013) (Mert et al., 2013) (Davis, Nikolic & Dijkema, 2009) (Romero & Ruiz, 2014) (Kraines & Wallace, 2006) (Cao, Feng & Wan, 2009). En estos trabajos se establecen características tales como las propiedades que deben poseer los agentes, estructura del conocimiento de la comunidad de agentes, tipos de agentes y sus capacidades, así como criterios para la toma de decisiones bajo el marco de la sostenibilidad, integrándose bajo el concepto de ambiente inteligente (Pérez & Susperregi, 2006).

Otro de los aspectos que está teniendo actualmente especial importancia en el modelado de la gestión sostenible de los procesos, es el hecho de desarrollar y establecer ontologías del conocimiento que permitan el modelado y formalización del conocimiento en el dominio de la simbiosis industrial (Raafata et al., 2013), incluyendo la clasificación y caracterización de la tecnología, materiales, sustancias y desperdicios, así como los perfiles de los usuarios y los parámetros económicos, ambientales y sociales. Incorporando aspectos económicos y sociales en la línea de las recientes tendencias de (ASCV) Análisis de la Sostenibilidad de Ciclo de Vida, frente al clásico Análisis de Ciclo de Vida.

### **4. Modelo para la Manufactura Sostenible**

Se propone el desarrollo de un modelo de sistema de fabricación inteligente que permita la gestión de subproductos entre diferentes empresas, bien estén localizadas en una misma ubicación (ecoparque) o distribuidas e independientemente de su tamaño. Contribuyendo a que los subproductos de desecho de un proceso productivo de una empresa puedan ser

subproductos materia prima de una segunda empresa. Para ello se plantea la realización de un modelo de fabricación apoyado en los conceptos de sistema multiagente y metabolismo industrial.

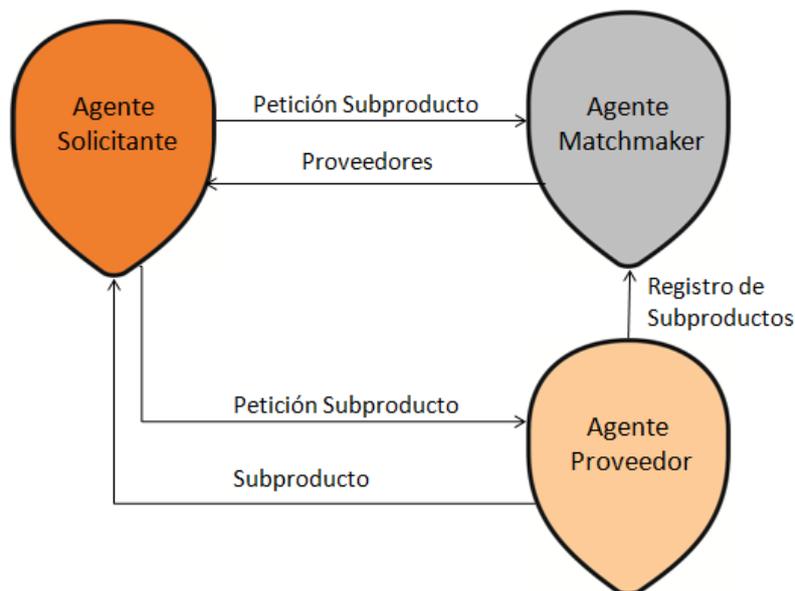
La ecología industrial abarca no solo la concepción de eco-parques, en los que grupos de empresas desarrollan su actividad permitiendo un cierre de ciclo para el aprovechamiento total de los materiales evitando el concepto de desecho, sino que acoge un punto de vista mayor en el que la gestión de subproductos puede realizarse entre empresas de fabricación distribuidas geográficamente.

En los siguientes apartados se expone la arquitectura empleada en el sistema multiagente junto con la clasificación de agentes, así como la infraestructura de la tecnología de la información empleada.

#### 4.1. Sistema multiagente

El objetivo del sistema multiagente es establecer una estructura de fabricación que incorpore lo hasta ahora expuesto relativo a los sistemas de fabricación inteligentes, la ecología industrial y las bolsas de subproductos.

Figura 3. Arquitectura de sistema multiagente por *Matchmaker*

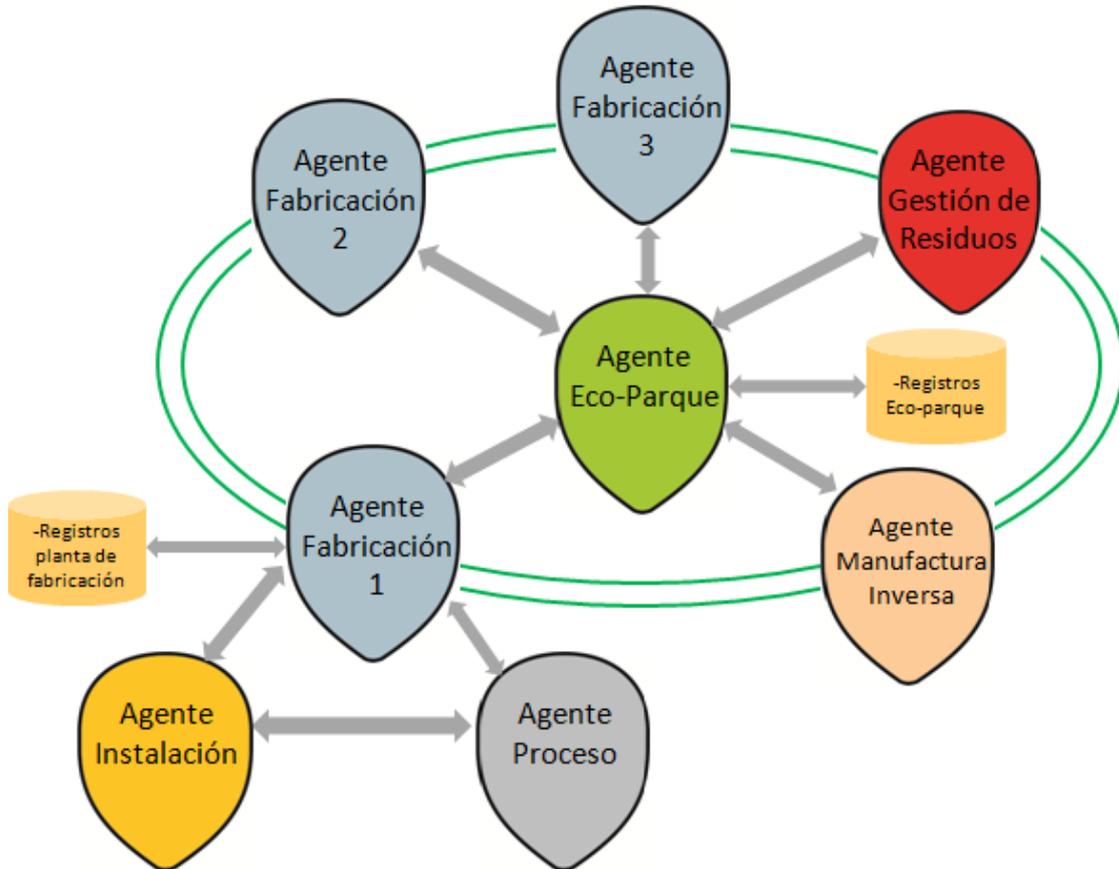


En el sistema multiagente propuesto se ha considerado una arquitectura federada en su aproximación de *matchmaker*. El *matchmaker* o facilitador no resuelve el problema que otro agente le pregunta, simplemente actúa de mediador entre los agentes implicados, por lo que su tarea consiste en buscar a un agente que posea el conocimiento suficiente para resolver el problema (Aguayo, 2007). En este tipo de arquitectura se establece un superconjunto de mecanismos de *brokering* que posibilita un agrupamiento o emparejamiento necesarios entre los agentes para conseguir unos objetivos. La figura 3 muestra el funcionamiento de la arquitectura de sistema multiagente por *matchmaker*.

La arquitectura multiagente propuesta es una aproximación aumentada de la estructura que poseen las bolsas de subproductos, ver figura 4. Existen bolsas de subproductos a nivel regional, a nivel nacional y a nivel europeo. En este caso se añade además la bolsa de suministro a nivel de planta de fabricación. El intercambio de subproductos se realizará en primer lugar, con el apoyo del agente *matchmaker* de ese nivel, entre agentes de un mismo nivel puesto que los niveles están organizados por proximidad geográfica, y ésta supone en

sí misma una ventaja económica a añadir al subproducto. Si no existe el subproducto requerido o no es posible asignarlo dentro de un nivel, el agente correspondiente lo solicitará u ofertará al agente matchmaker inmediatamente superior, el cual dentro de su nivel realizará la misma secuencia.

**Figura 4. Arquitectura de sistema multiagentes para manufactura sostenible**



La confidencialidad de los agentes participantes se mantiene hasta el momento en que se encuentra correspondencia, en cantidad y calidad, entre el solicitante y el proveedor del subproducto solicitado. A cualquier nivel de observación existen agentes solicitantes y agentes proveedores de subproductos y sustancias. El agente de matchmaker contiene el registro de subproductos por proveedores, de modo que se posibilita establecer la comunicación para la negociación entre los agentes solicitantes y proveedores.

Se puede apreciar que el intercambio de forma efectiva se realiza entre los agentes de procesos o instalaciones que están ubicados en el último nivel. Sin embargo se ha optado por escoger una estructura federada al objeto de canalizar y minimizar las comunicaciones entre agentes, puesto que de lo contrario para un intercambio a nivel de planta habría de establecerse la comunicación con todos los agentes de la red. Con la correspondiente carga en transmisión de datos y ralentización que ello supone.

La figura 5 muestra como las bolsas de subproductos intentan resolverse en los niveles inferiores, pero en caso de no ser posible los anuncios y las demandas irán ascendiendo, de modo que puedan establecerse intercambios a mayores ámbitos de oportunidad. La comunicación para la negociación de la adquisición y venta de subproductos está reservada directamente a los agentes de procesos, puesto que contienen la información necesaria y las herramientas para valorar el subproducto a adquirir.

## 4.2. Descripción de los agentes inteligentes

El sistema multiagente que se presenta en esta propuesta clasifica los agentes, pertenecientes al ecosistema industrial, en función de los agentes que componen la bolsa de subproductos. Cabe destacar que, salvo los agentes de instalación y proceso, todos los demás son agentes de tipo matchmaker. Por lo que se realizan dos clasificaciones, una primera consistente en definir los tipos de agentes, y una segunda en la que se identifican los agentes que forman el sistema y el tipo al que pertenecen. A continuación se describen los tipos de agentes que se pueden encontrar en el sistema multiagente junto con sus funciones:

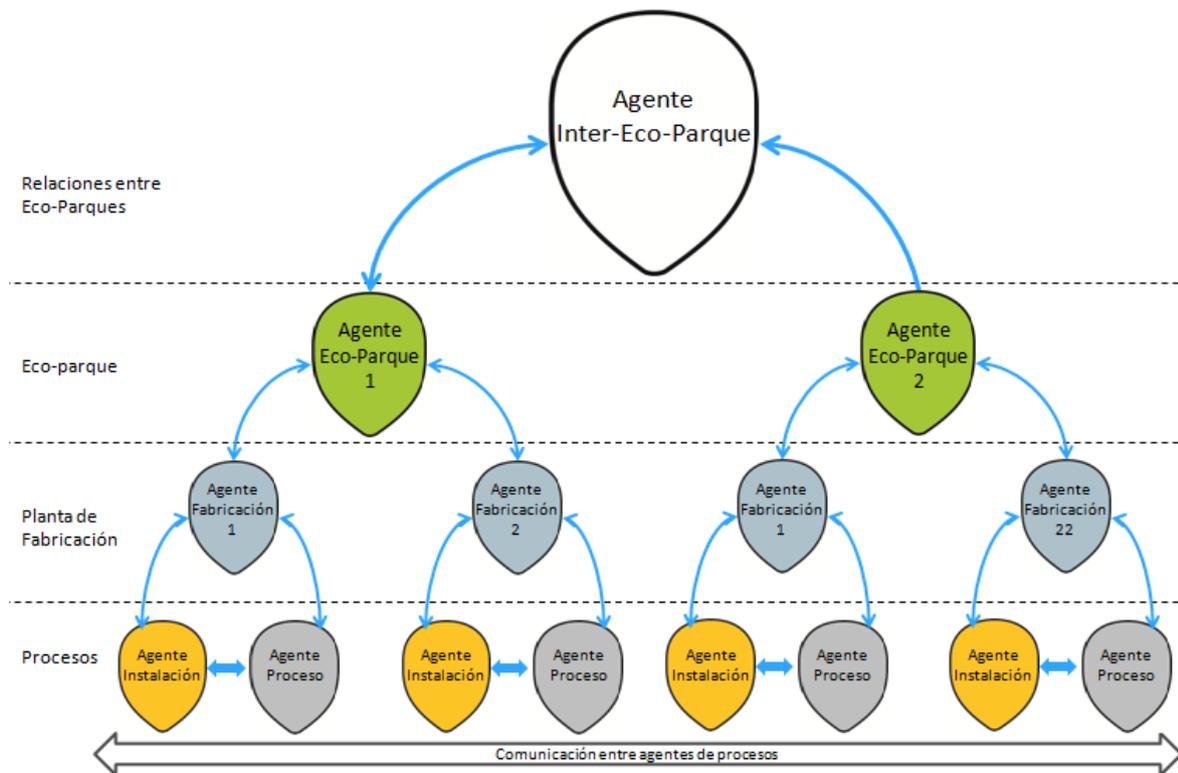
- Agente Proveedor. Este tipo de agente identifica la calidad y cantidad de los subproductos que gestiona y realiza un registro de subproductos, el cual envía al Agente de Matchmaker inmediatamente superior.
- Agente Solicitante. Este tipo de agente identifica la necesidad de subproducto en calidad y cantidad y envía la petición de demanda al Agente de Matchmaker inmediatamente superior.
- Agente de Matchmaker. Este agente se encarga de gestionar el registro de proveedores y de atender las solicitudes de los solicitantes de subproductos y sustancias del nivel inmediatamente inferior con el que posee comunicación. En caso de no ser posible emparejar solicitantes con proveedores en el nivel que gestiona, este agente envía los datos de solicitantes y proveedores al agente de Matchmaker de nivel superior, y así sucesivamente. Por lo que también posee las características de los Agentes Proveedor y Solicitante.

A nivel de eco-parque se encuentran los siguientes tipos de agentes:

- Agente de Proceso. Este tipo de agente posee las características de los Agentes Proveedor y Solicitante. Está en contacto directo con el proceso de fabricación, de modo que conoce las necesidades y excesos de subproductos. Tiene acceso al conocimiento en las técnicas de ecología industrial, de modo que una vez le comuniquen los datos de un posible emparejamiento para intercambiar subproductos, éste puede realizar los análisis correspondientes para evaluar los costos, el impacto ambiental, análisis de ciclo de vida, etc. puesto que posee conocimiento del proceso y del subproducto.
- Agente de Instalación. Este agente posee las características del Agente Proveedor. Se ocupa de gestionar el exceso de subproductos y sustancias de la instalación de la planta, al objeto de poder ser proveedor de subproducto de algún proceso de fabricación.
- Agente de Fabricación. Este agente presenta las características del Agente Matchmaker y se encarga de gestionar el registro de proveedores y de atender las solicitudes de los solicitantes de subproductos y sustancias a nivel de planta de fabricación. En caso de no ser posible emparejar solicitantes con proveedores a nivel de planta de fabricación, este agente envía los datos de solicitantes y proveedores al agente de nivel superior, el Agente de Ecoparque.
- Agente de Gestión de Residuos. Este agente se encarga de gestionar dentro del eco-parque los residuos que no son posibles reutilizar de forma inmediata, sino que requieren un proceso previo de reciclaje o transformación para su uso. Por lo que posee las características de un Agente Solicitante.

- Agente de Manufactura Inversa. Este agente es similar al de fabricación, puesto que posee sus mismas características, pero en este caso su objetivo es adquirir subproductos para su reparación, reacondicionamiento y/o refabricación.
- Agente de Eco-parque. Este agente es de tipo Matchmaker y se ocupa de la gestión de la bolsa de subproductos a nivel de eco-parque. En caso de no poder gestionar la solicitud la traslada al Agente de Cámara de Comercio.
- Agente de Inter-Eco-parque. Este agente presenta las características del Agente Matchmaker y soporta las funciones que ejercen las Cámaras de Comercio a nivel regional en la bolsa de subproductos. Pero en este caso solo gestionan los subproductos que no han podido ser reconducidos a niveles inferiores.

Figura 5. Estructura de comunicación entre agentes



#### 4.3. Infraestructura de tecnología de la información

Una de las grandes dificultades con la que se encuentran las redes de empresas a la hora de integrarse, es la gestión de la información entre las distintas empresas que la forman y que ésta esté libre de errores, es decir, que exista una calidad de la información (Gustavsson, 2009) que circula tanto dentro de las empresa como entre ellas. La diversidad existente de aplicaciones informáticas y la velocidad de cambio de éstas, hace necesario utilizar estándares para la transferencia de datos entre empresas. Para ello existen varias normas ISO para la representación e intercambio de información de productos industriales, cuyo objetivo es facilitar un mecanismo que sea capaz de describir la información de un producto a través del ciclo de vida del mismo, independientemente de cualquier sistema o empresa particular. El objetivo de estas normas hace posible que no solo sea un intercambio de archivos, sino que además sea posible crear bases de datos de productos y archivos.

Las normas ISO 10303, ISO 15531 e ISO 13584 son conocidas respectivamente como STEP, MANDATE y PLIB. STEP, por ejemplo, es usado típicamente para el intercambio de datos entre CAD, CAM, CAE, PDM/EDM y otros sistemas CAx.

No obstante estos modelos son incompatibles entre sí, por ello existen grupos de investigación (López-Ortega, 2007) cuyo propósito es obtener un modelo de intercambio de datos, en la red de empresas distribuidas, que sirva para conectar los distintos estándares. Así mismo existen otros proyectos de investigación a nivel europeo, como es el caso del proyecto 1629 FACTORY TIMESHARE (EUREKA Project, 2000) llevado a cabo por Italia, Suiza, Turquía y Reino Unido, que desarrolla un sistema de comunicación para la dirección de la fabricación distribuida, de forma que se pueda compartir la información en un marco de empresas distribuidas.

En consonancia con las investigaciones más recientes, la infraestructura de soporte, arquitectura y lenguaje, así como los estándares para el intercambio de información y datos se sustentan en el uso de Internet y su tecnología asociada como plataforma de integración. La infraestructura de tecnología de la información en el paradigma de ecología industrial queda caracterizado por:

- Infraestructura de soporte, arquitectura y lenguajes: CORBA, FIPA, OAA, KQML, INP, ICE, etc. cuya comparativa es desarrollada por Aguayo (2007).
- Los estándares para el intercambio de información, entre los que cabe mencionar: STEP, KIF, XML.
- Sistemas de gestión de datos y procesos: PDM y ERP.

## 5. Conclusiones

El modelo propuesto de sistema de fabricación inteligente para la gestión de subproductos entre diferentes empresas aporta importantes ventajas frente a la gestión actual llevada a cabo por las Cámaras de Comercio. El empleo de un sistema multiagente permite disminuir los tiempos en la gestión de la bolsa, garantizar el anonimato de las organizaciones que intervienen, así como facilitar una información detallada de las características del subproducto incluyendo su nivel de calidad, uno de los principales problemas de desconfianza.

Para que la incorporación de sistemas de fabricación inteligentes llegue a ser una realidad en todas las empresas, incluidas las PYMES, es preciso que no sólo mejoren aspectos tecnológicos, como las comunicaciones, aplicaciones informáticas, protocolos, etc., sino que también evolucione la cultura empresarial (Dyer, 2000). En el aspecto de la tecnología, los futuros desarrollos en aplicaciones informáticas deberán orientarse a lograr una monitorización e tiempo real de todos los procesos de la empresa, de sus interacciones con el resto de empresas, con el cliente y sus proveedores. Cada parte que forma el ecosistema industrial deberá integrar sus sistemas de gestión de materiales y sustancias, para conseguir una perspectiva completa de todo el ecosistema completo. Así mismo, la consolidación de la banda ancha y el establecimiento de unos estándares válidos y fácilmente integrables de comunicación permitirán el acceso a cualquier empresa a este modelo de gestión independientemente de su tamaño y recursos. Otro aspecto importantísimo, necesario para la correcta integración de los agentes que forman el ecosistema industrial, es la cultura corporativa. Cada organización deberá asumir el papel que juega dentro del ecosistema industrial y trabajar desde ese punto de vista. Es preciso que exista un cambio de mentalidad y que cada organización entienda que la información del proceso generada en cada nivel puede mejorar la gestión ecológica del ecosistema industrial, lo que repercutirá en un beneficio para todo el conjunto de agentes y fortalecerá las relaciones entre ellos.

Para lograr este objetivo es fundamental que no solo se desarrollen aplicaciones y protocolos para el intercambio e interacción de datos entre empresas (Qingsong, Zude & Quan, 2010), sino que se genere confianza entre todos los miembros que forman el ecosistema industrial, de modo que aprendan a trabajar y cooperar en esta nueva forma de interacción con el resto de agentes. Quizás el cambio de cultura sea el más difícil de todos, incluso más que el tecnológico y metodológico, causado por el celo que muestra cada empresa en compartir la información relativa a sus procesos. Aunque existe un sistema específico que permite gestionar la bolsa de subproductos, este deseo de privacidad, junto con la desconfianza en cuanto a la calidad del subproducto recibido, puede provocar que la integración del conjunto de organizaciones que forman el ecosistema industrial no se lleve a cabo de forma completa, con el consecuente crecimiento de las entradas de materia prima por unidad producida y el inevitable aumento de los costes derivados de una gestión ineficiente.

## 6. Referencias

- Aguayo, F., Peralta, M.E., Lama, J.R., & Soltero, V.M. (2011). *Ecodiseño. Ingeniería Sostenible de la cuna a la cuna*. España, Ed. RC Libros.
- Aguayo, F., Marcos, M., Sánchez, M., & Lama, J.R. (2007). *Sistemas Avanzados de Fabricación Distribuida*. Madrid, España, Ra-Ma.
- Ayres, R. (1994). *Industrial Metabolism: Theory and Practice. The Greening of Industrial Ecosystems*, Washington DC, USA: National Academy of Engineering.
- Bajo J., & Borrajo, M. (2012). A multi-agent system for web-based risk management in small and medium business. *Expert Systems with Applications*, 39, 6921-6931.
- Bichraoui, N., Guillaume, B., & Halogb, A. (2013). *Agent-Based modelling simulation for the development of an industrial symbiosis -Preliminary results-*. *Procedia Environmental Sciences*, 17, 195-203.
- Cao, K., Feng, X., & Wan, H. (2009). Applying agent-based modeling to the evolution of eco-industrial systems. *Ecological Economics*, 68, 2868–2876.
- Davis, C., Nikolic, I., & Dijkema, G. (2009). Integration of Life Cycle Assessment into Agent-Based Modeling. *Journal of Industrial Ecology*, 13(2), 306-325.
- Despeisse, M., Ball, P. D., Evans, S. & Levers, A. (2012), Industrial ecology at factory level – a conceptual model, *Journal of Cleaner Production*, 31(3-4), 30-39.
- Dyer, J. (2000). *Collaborative Advantage Winning Through Their Extended Enterprise Supplier Networks*. Oxford University Press.
- EUREKA Project, Team-based iconographic multimedia environment for sharing, storage and re-use of information. (2000). Obtenido el 1 de junio de 2014, desde <http://www.eurekanetwork.org/project/-/id/1629>
- Frosch, R., & Gallopoulos N. (1989). Strategies for Manufacturing. *Scientific American*, 3, 144-152.
- Gustavsson, M. (2009). Assessing information quality in manufacturing planning and control processes. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 26(4), 325-340.
- IMS2020 Roadmap on Sustainable Manufacturing, Energy Efficient Manufacturing and Key Technologies. (2010). Obtenido el 1 de junio de 2014, desde <http://www.ims2020.net/>
- ISO 10303-1:1994. Industrial automation systems and integration – Product data representation and exchange.
- ISO 15531-1:2004. Industrial automation systems an integration – Industrial manufacturing management data.
- ISO 13584-1:2001. Industrial automation systems and integration – Parts library.
- Kraines, S., & Wallace, D. (2006). Applying Agent-based Simulation in Industrial Ecology. *Journal of Industrial Ecology*, 10(1-2), 15-18.
- López-Ortega, O. (2007). A formal framework to integrate express data models in an extended enterprise context. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 18(3), 371-381.

- Mert, B., Aradag, U., Uludag, S., & Ozgur, H. (2013). *An Architecture for a Microgrid-based Eco Industrial Park using a Multi-Agent System*. 4th International Congerence on Power Engeeneering, Energy and Electrical Drives, 1658-1664.
- Pérez, M.A. & Susperregi, L. (2006). Software agents for ambient intelligence based manufacturing. Proceedings, Thirteenth International Symposium on Temporal Representation and Reasoning, 139-144.
- Qingsong, A., Zude, Z., & Quan, L. (2010). A STEP based generic product modeling architecture for collaborative injection molding product development. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries*, 20(6),547-566.
- Raafata, T., Trokanasa, N., Ceceljaa, F. & Bimib, X. (2013). An ontological approach towards enabling processing technologies participation in industrial symbiosis. *Computers and Chemical Engineering*, 59, 33-46.
- Romero, E., & Ruiz, M.C. (2014). Proposal of an agent-based analytical model to convert industrial areas in industrial eco-systems. *Science of the Total Environment*,468-469, 394-405.
- Valero, A., & Usón, S. (2011). *Ecología industrial: cerrando el ciclo de materiales*. Textos docentes, Universidad de Zaragoza.