

Modelado Semántico de Procesos Independiente de las Infraestructuras de Fabricación

Antonio Ferrándiz Colmeiro, Virgilio Gilart Iglesias, Francisco Maciá Pérez

Departamento de Tecnología Informática y Computación
Universidad de Alicante
{aferrandiz ,vgilart ,pmacia}@dtic.ua.es

Abstract. En este trabajo se propone un modelo de gestión de procesos de negocio que permita diseñar y desplegar procesos de fabricación con independencia de las características físicas del nivel de planta. Para componer los procesos completos de manera automática, la propuesta se basa en el uso de ontologías como fuente de conocimiento, a partir de las cuales se realizan los razonamientos que permiten adaptar los procesos abstractos a las características específicas de una planta sin intervención humana. Para ello se presenta un modelo conceptual y una arquitectura basada en servicios, en la que la maquinaria industrial actúa como proveedor de servicios y el sistema de gestión de procesos de negocio actúa como consumidor de los mismos. A partir de la propuesta se ha realizado su implementación y se ha diseñado un caso de uso junto con un conjunto de experimentos que han demostrado que se obtiene un alto grado de automatismo en la composición automática de procesos de fabricación, validando la propuesta.

Keywords: Ontologías, BPM, Servicios Web, SOA.

1 Introducción

La capacidad que Internet ha otorgado a los clientes para seleccionar los artículos de consumo que más les convienen en cada momento y a los precios más ajustados está impulsando a las organizaciones manufactureras a evolucionar desde los tradicionales paradigmas de producción orientados a la producción masiva hacia modelos que faciliten la personalización masiva [1] [2]. Este nuevo escenario exige a las organizaciones nuevos modelos de producción, más dinámicos y flexibles, que permitan adaptarse de forma ágil a los cambios producidos en el entorno debido a la demanda del mercado [3] [4].

Para dar respuesta a las exigencias de los nuevos modelos, el paradigma BPM (Business Process Management) se ha convertido en el enfoque de gestión de procesos de negocio más adecuado [2] [4] porque contempla el cambio continuo como una de sus principales características y la adecuación de forma ágil de los procesos de negocio y las infraestructuras IT que los sustentan.

La aplicación del paradigma BPM de forma integral resulta muy complicada en el entorno de las organizaciones manufactureras debido a la brecha conceptual y tecnológica existente que provoca una alta rigidez de los elementos ubicados en los

niveles inferiores de producción [5]. Ofrecer una visión de la maquinaria industrial como servicio (IMaaS) [6], integradas bajo un paradigma de arquitectura orientada a servicios (SOA), ha resultado una propuesta exitosa para solucionar este problema permitiendo modelar los procesos de fabricación de la maquinaria industrial como una parte más del sistema de gestión de procesos de negocio (BPMS).

Al eliminar esta brecha, se abre todo un abanico de posibilidades en la gestión de los procesos en las organizaciones manufactureras. Sin embargo, este abanico de posibilidades está provocando que el tradicional cuello de botella existente entre el nivel de empresa y de planta se traslade ahora al dominio del modelado y gestión de procesos.

Para mitigar dicha carga, en el presente artículo se propone un modelo que automatiza el diseño y la composición de procesos conforme a los objetivos estratégicos de la organización y su posterior despliegue y ejecución en diferentes organizaciones manufactureras independientemente de su estructura física, adaptando de forma ágil dichos procesos a los recursos existentes en cada una de ellas. Para ello, la propuesta se basa en la sinergia entre el modelo IMaaS que propone la maquinaria industrial como servicio [6] y la incorporación de conocimiento en la definición de los procesos y los servicios implicados mediante el uso de ontologías que se describe en [7].

Según este objetivo, el resto del documento se ha estructurado de la siguiente forma: en la sección 2 se analizan brevemente los trabajos previos en los que se basa la presente propuesta, haciendo especial hincapié en el concepto de IMaaS, junto con una revisión del estado del arte de los aspectos relacionados; a continuación se presenta la propuesta general donde se describe el modelo que permite independizar el modelado de los procesos de la estructura física de la organización manufacturera donde se deseen desplegar; en la sección 4 se detalla el caso de estudio realizado: continuando con la implementación de un prototipo del sistema propuesto junto con un escenario de pruebas, basado en un conjunto de maquetas de fabricación industrial con diferentes recursos sobre las que se desplegarán los mismos procesos sobre la que se han realizado las diferentes pruebas y se han analizado los resultados obtenidos; finalmente se presentan las principales conclusiones de la investigación junto con las líneas futuras de trabajo.

2 Antecedentes

La plena integración de los procesos de fabricación en el mapa global del modelo de negocio ha impulsado diversas soluciones que han evolucionado desde los tradicionales modelos de automatismos (Modbus, Profibus, AS-I, FIPIO, DeviceNET, Interbus o Ethernet industrial) integrados con los niveles de gestión mediante adaptadores ad-hoc [8], hasta los sistemas basados en las tecnologías de la información que más éxito están teniendo hoy en día en el ámbito de la integración como la propuesta de transparent factory [9], el uso del protocolo SOAP de ABB [10] o sistemas basados en Servicios Web [11].

Existen propuestas más recientes, algunas de ellas enmarcadas dentro de proyectos europeos basadas en el uso de Servicios Web y WS-* para exponer la funcionalidad de los elementos de producción [12] [13] y otras propuestas como la de IMaaS que

presentan la maquinaria industrial como parte de un sistemas de gestión de procesos de negocio (BPMS) que expone su funcionalidad como servicios bajo el paradigma SOA [14] [6]. Este último enfoque es el que se ha utilizado en el escenario general descrito en la propuesta del presente trabajo para permitir la implantación de los BPMS en las organizaciones manufactureras.

La propuesta IMaaS elimina las restricciones tecnológicas y conceptuales mencionadas anteriormente que impedían la integración de los procesos de negocio y los de fabricación. Para lograrlo, la propuesta define dos procesos, el proceso de normalización conceptual y el proceso de normalización tecnológica de la maquinaria industrial. La normalización conceptual de la maquinaria industrial establece un modelo que elimina las restricciones conceptuales que existe entre los procesos de fabricación y los procesos de negocio. Para ello incorpora en la maquinaria industrial los elementos necesarios para visualizarla como un sistema basado en el ciclo de vida del modelo BPM y expone la funcionalidad de dichos elementos como servicios al resto de la organización. El objetivo final es obtener un patrón BPM de la maquinaria industrial orientado a un modelo de servicios (Fig. 1). El proceso de normalización tecnológica de la maquinaria industrial establece la arquitectura (arquitectura IMaaS) que permite sustentar el anterior modelo conceptual de servicios, eliminando las tradicionales restricciones tecnológicas y aportando flexibilidad y dinamismo a la maquinaria [6].

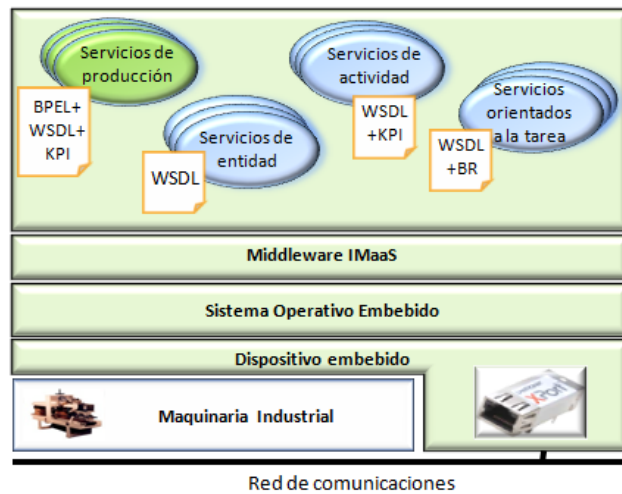


Fig. 1. Arquitectura de la maquinaria industrial como servicio IMaaS.

Para cubrir requerimientos como la auto-organización, automatización o comportamientos reactivos y proactivos, es necesario que exista comunicación entre organización, aplicaciones y maquinaria. Para que pueda existir dicha comunicación es necesario clasificar la información referente a un dominio de manera formal, para lo cual las ontologías se presentan como una buena herramienta. Esta información es interpretable por agentes software de modo que se posibilita la interoperabilidad de sistemas informáticos y se potencia la integración de los diferentes sistemas de la

empresa, siendo posible establecer razonamientos, basados en las relaciones lógicas internas de la ontología, que permitan a los diferentes elementos interactuar de manera automática [15]. Sobre el dominio de empresas manufactureras se pueden destacar dos grandes líneas en el desarrollo de sistemas basados en ontologías, por un lado los estudios que realizan una conceptualización de los dominios de fabricación, y por otro, la aplicación de semántica a la gestión de procesos de negocio.

La conceptualización del dominio es una parte fundamental en el uso de ontologías. Existen diferentes trabajos que enumeran los conceptos implicados e identifican las relaciones entre los mismos. A partir de estos estudios se generan taxonomías que relacionan todos los conceptos para formar la ontología. Ejemplos de estos estudios son [16], donde se propone el uso de ontologías dentro de la arquitectura ADACOR. En [17] se propone otra ontología más específica de los dominios de fabricación, la ontología MASON (MANufacturing Semantics ONtology), basada en una descripción del dominio como una suma de recursos, operaciones y entidades, propuesta por [18]. A partir de esta ontología, en [19] se propone un sistema en el que la maquinaria es capaz de reconfigurarse de forma automática en función del objetivo.

Existe una serie de propuestas que se basan en representar semánticamente la descripción de los servicios que pueden ofrecer las máquinas. En [20] se expone la utilidad del uso de Servicios Web Semánticos para la automatización de los sistemas de producción, partiendo de la hipótesis de que si se pueden describir los componentes de fabricación usando una semántica interpretable por máquinas, entonces otros componentes inteligentes pueden realizar razonamientos y deducir el conocimiento suficiente para actuar recíprocamente. Siguiendo con esta línea, en [21] se propone el uso de Servicios Web Semánticos como Middleware para la reconfiguración de sistemas de fabricación.

Sin embargo, no se puede considerar la fabricación como un proceso aislado dentro de la empresa, sino que debe entenderse como un proceso más, dentro de los procesos de negocio de la organización. Dentro del campo de la gestión de procesos de negocio también existen diversas propuestas. Así, en [22] se propone una arquitectura basada en la descripción semántica de servicios y en un motor BPEL (Business Process Execution Language) como medio de ejecución de dichos servicios. En [23] se hace una comparación entre las características de BPEL y OWL-S para la composición dinámica de servicios y se concluye que OWL-S es más apropiado para entornos dinámicos y BPEL es la elección ideal para flujos de trabajo controlados.

En [24] se identifican un conjunto de limitaciones de las metodologías BPM y se propone para superarlas la combinación de BPM y SWS para llegar a lo que los autores han denominado Semantic Business Process Management.

En [7] se presentó un método para la integración de la maquinaria industrial dentro de los sistemas BPM, de forma que se logra un mayor grado de automatismo en la composición y en el despliegue de los procesos modelados, los cuales son implementados como servicios Web.

Del análisis realizado sobre las propuestas anteriores se desprende que en la actualidad los sistemas BPM son los más adecuados para la gestión ágil de procesos y que IMaaS se ha presentado como la solución que permite la implantación de BMPS en organizaciones manufactureras ya que permite superar las barreras tecnológicas y

conceptuales existentes entre sus niveles. Además, el uso de ontologías como apoyo para la gestión de procesos de fabricación es una manera de lograr incrementar el automatismo sobre los sistemas BPM cuando trabajan sobre un dominio concreto. Por ello, en este trabajo se explotan las capacidades dadas por las ontologías para lograr independizar las labores de modelado de procesos del entorno de fabricación, permitiendo mayor agilidad a la hora de componer procesos y desplegarlos en diferentes entornos de fabricación.

3 Propuesta general

El trabajo descrito en este artículo se centra en la propuesta de un modelo de gestión integral de los procesos de negocio y fabricación llevados a cabo en las organizaciones manufactureras. La propuesta automatiza el modelado de dichos procesos conforme a los objetivos estratégicos de la organización; posteriormente permite su despliegue y ejecución de forma transparente en cualquier entorno de fabricación disponible. Para lograr este objetivo, el sistema se basa en el uso de ontologías para independizar los procesos de fabricación de la estructura física de cada una de las plantas donde el proceso se vaya a desplegar. Para ello, se parte de un proceso funcional, independiente de una planta de fabricación concreta, que es diseñado por el ingeniero de procesos. A continuación, mediante una serie de razonamientos sobre las ontologías de cada una de las plantas, se obtiene de forma automática un proceso a medida para cada una de las plantas industriales donde se vaya a llevar a cabo el proceso original Fig. 2.

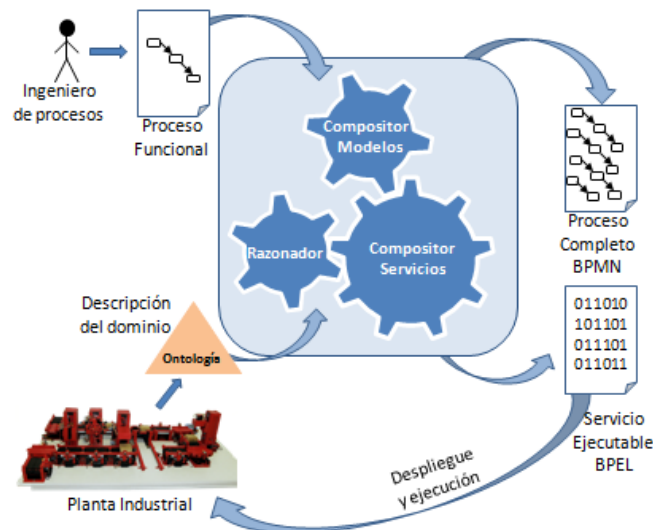


Fig. 2. Visión general de la propuesta presentada en el trabajo.

Esta propuesta permite que el ingeniero de procesos pueda centrarse en la definición de los procesos sin preocuparse de la tecnología subyacente, fomentando que se puedan generar estructuras de procesos óptimas para un sector determinado de

producción en función de las normativas y de las buenas prácticas de negocio e industriales, favoreciendo la reutilización de los procesos modelados y permitiendo establecer patrones de procesos genéricos que puedan ser desplegados en cualquier entorno en un momento dado.

3.1 Modelo Conceptual

El modelo conceptual se divide en tres niveles: el nivel de negocio, el nivel de conocimiento y el nivel de fabricación (Fig. 3).

El nivel de negocio está formado por las funcionalidades definidas en el ciclo de vida BPM para la gestión de procesos a través del cual, el Process Manager gestiona los procesos de negocio de la organización, incluyéndose los procesos de fabricación como un conjunto más de procesos de negocio. Este nivel incluye funcionalidades extras que permiten la automatización de las funcionalidades incluidas a partir del conocimiento proporcionado por los niveles inferiores del modelo.

Las características de los procesos de fabricación son dependientes del nivel de planta, por lo que se ha definido un segundo nivel intermedio entre el nivel de negocio y el nivel de fabricación con el objetivo de independizar ambos dominios mediante la introducción de conocimiento en la descripción de los procesos y de los elementos de producción. A este nivel se le ha denominado nivel de conocimiento e incluye la información conceptual referente a la estructura física de los elementos de fabricación de la organización y a sus características tecnológicas, la información sobre los procesos que son llevados a cabo en la organización y la relación con la maquinaria responsable de su ejecución y los servicios que exponen la funcionalidad de dichos procesos. De esta forma se ofrece una visión de la maquinaria industrial desde un punto de vista funcional a los niveles superiores a modo de caja negra.

Para lograr esta abstracción es necesaria una normalización conceptual y tecnológica de la maquinaria industrial en el nivel de planta que permita eliminar la brecha existente entre los elementos ubicados en los niveles inferiores de producción y los elementos de gestión ubicados en el nivel de empresa de la organización. Esta normalización es llevada a cabo en el nivel de fabricación. De esta forma, se pueden gestionar de igual forma las diferentes plantas industriales, independientemente de su mecánica.

3.2 Arquitectura de la propuesta

Para llevar a cabo la propuesta descrita anteriormente se ha especificado una arquitectura SOA basada en el patrón MatchMaker compuesta por: el sistema de producción IMaaS (nivel de fabricación), el sistema de información y el sistema de gestión de procesos (niveles de negocio y conocimiento), como se puede ver en la Fig. 4 donde el sistema de producción IMaaS actúa con el rol de proveedor de servicios, el sistema de información actúa como intermediario para la localización y descubrimiento de servicios y el sistema de gestión de procesos actúa como consumidor de servicios IMaaS.

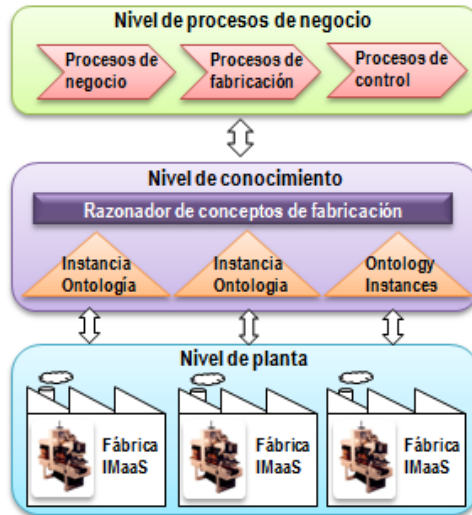


Fig. 3. Propuesta conceptual del sistema de fabricación.

Sistema de Producción IMaaS

El sistema de producción está compuesto, a su vez, por un conjunto de máquinas industriales que ofrecen su funcionalidad como procesos de negocio expuestos como servicios (IMaaS). Estos procesos son los responsables de llevar a cabo los procesos físicos del entorno de producción. Cada una de estas máquinas oferta los procesos que es capaz de realizar como un servicio. Estos servicios se registran en el sistema de información de forma que queden disponibles para que puedan ser consumidos. Además, cada sistema de producción contiene la información semántica del conjunto de máquinas y procesos de los que dispone. Dicha información semántica corresponde con la instanciación de los elementos del sistema de producción (ABox) dentro de la ontología general propuesta en [7] y comentada en el siguiente apartado.

Sistema de Información

El sistema de información está compuesto, por un lado, por la descripción de los servicios disponibles en los diferentes sistemas de fabricación, y por otro lado, por la base de conocimiento semántico, formalizada como una ontología (TBox) que contiene una clasificación de las diferentes máquinas que se pueden encontrar en una planta de fabricación, las relaciones entre los diferentes tipos de maquinaria, qué servicios oferta cada máquina, y de qué forma se relaciona cada servicio con un conjunto de procesos de fabricación genéricos.

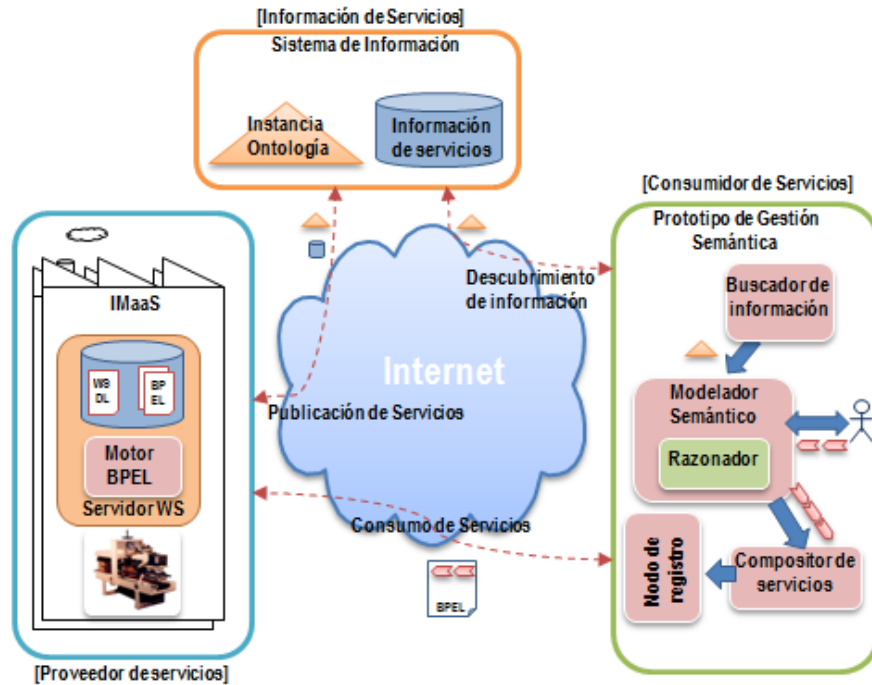


Fig. 4. Propuesta del sistema de fabricación distribuido en diversas plantas basado en SOA.

Sistema de Gestión de Procesos

El sistema de gestión de procesos es responsable de la gestión de las políticas, objetivos y estrategias de negocio mediante un sistema BPMS dirigido por información semántica. Este sistema se compone de un sistema de modelado de procesos de negocio que, a partir de un proceso funcional, compone de forma automática el proceso completo que refleja las características específicas de una planta de fabricación concreta. Se entiende como proceso funcional una especificación del *qué* se debe realizar, independientemente del *cómo* se debe realizar. Una vez se dispone del proceso modelado, éste se le pasa a un compilador de modelos (Service composition), el cual, a partir de la información especificada en cada ontología de cada planta, junto con el proceso compuesto automáticamente, es capaz de traducir el modelo a un lenguaje ejecutable, que pueda ser interpretado por la maquinaria industrial y llevado a cabo de manera física. Lo que permite reducir la difícil comunicación entre “stakeholders” de áreas diferentes y que no manejan, en muchos casos, los mismos conceptos.

El proceso ejecutable obtenido se envía a la planta de fabricación, en la cual se registra y se instancia en la ontología. De esta forma se consigue una retroalimentación del sistema de fabricación, permitiendo a la planta de producción ofertar su nuevo proceso como servicio para futuros usos.

Gracias a que la propuesta está basada en una arquitectura distribuida, y que el sistema de composición está basado en una fuente de conocimiento genérica como son las ontologías, este sistema se puede extender tal y como muestra la Fig. 4, de forma que desde un único sistema de gestión se puedan manejar diferentes plantas de fabricación de manera remota.

El sistema de gestión permite guardar los procesos funcionales, de forma que, ante un cambio en una planta de fabricación o la incorporación de nuevas plantas de fabricación a la empresa, el modelado, y despliegue de los procesos ya disponibles en otras plantas es inmediato. A su vez, el sistema podrá gestionar también de forma ágil los nuevos procesos que se puedan generar para dicha planta. Con esto se consigue, por un lado, evitar el remodelado de procesos de fabricación ante cambios en el nivel de planta, por otro, favorecer la reutilización de los procesos modelados para su despliegue en diferentes entornos de producción.

4 Caso de Estudio

Como concreción de la propuesta anterior se presenta un sistema de fabricación en el que se modela únicamente el procesamiento (operaciones de transformación de materia) que se debe realizar sobre la materia prima y es éste sistema el responsable de orquestar y componer un proceso final en el que automáticamente se calcule el camino que debe seguir la materia prima por la fábrica e incorporar los procesos auxiliares necesarios para que la máquina mueva la materia prima por dicho camino. Esto permite al ingeniero de procesos modelar en función de las políticas establecidas y objetivos de negocio desde el nivel de empresa.

Para ello, la ontología propuesta recoge la información referente los diferentes tipos de maquinaria existente en el nivel de planta junto con sus características (como: posición, número de sensores, tipos de herramientas, etc.); se establece que cada máquina tiene una serie de servicios asociados, los cuales implementan procesos de fabricación; y se define una clasificación jerárquica de los diferentes procesos de fabricación. En la figura 5 se muestra una estructura simplificada de la ontología implementada, la cual consta de tres clases principales como son: servicio, proceso y maquinaria, y las relaciones semánticas entre estas clases o conceptos.

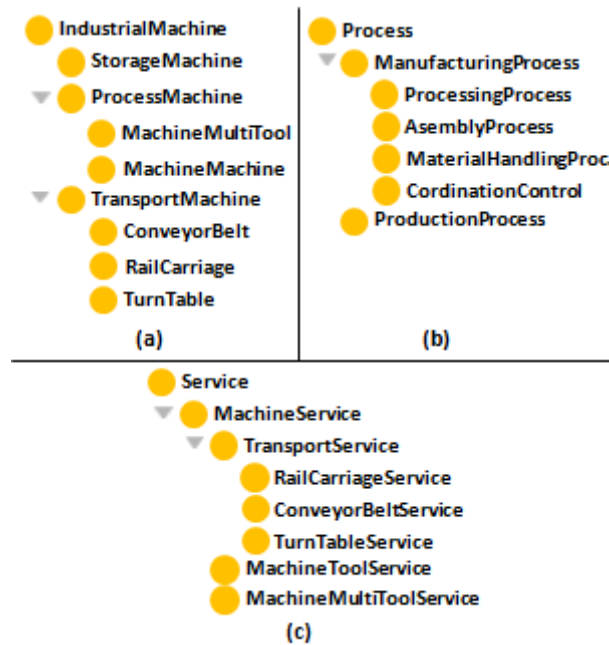


Fig. 5. Ontología implementada.

Además, se ha extendido esta ontología mediante el lenguaje de reglas lógicas, definiéndose una serie de reglas lógicas que permiten establecer relaciones y generalizaciones entre diferentes conceptos. En concreto, estas reglas se han usado para poder establecer las conexiones (camino físicos), ya sean directas o indirectas, entre las diferentes máquinas de una planta de fabricación concreta. Así, si una máquina está conectada a través de su eje X o su eje Y a otra máquina y ésta, a su vez, está conectada a una tercera máquina, entonces existe al menos una conexión entre la primera máquina y la tercera. Como se verá en la composición de procesos, estas reglas permiten calcular de forma rápida las posibles máquinas conectadas. Estos razonamientos se realizan sobre la ontología, permitiendo separar las estrategias de negocio de la implementación de una herramienta software concreta.

A partir del proceso funcional definido por el ingeniero de procesos de forma genérica e independientemente de las infraestructuras de la fábrica donde vaya a ser desplegado el sistema compondrá de forma automática el proceso final dependiente de la infraestructura de la fábrica.

Para ello, en primer lugar, el sistema extrae la información referente al tipo de procesos y a su secuencia de ejecución.

En segundo lugar, una vez obtenida dicha información, se realiza el razonamiento sobre la ontología para obtener qué máquinas llevan a cabo dichos procesos, y a través de qué servicios son implementados. A partir de la información obtenida de las máquinas se realiza una búsqueda de los posibles caminos para componer dicho proceso final (Fig. 6).

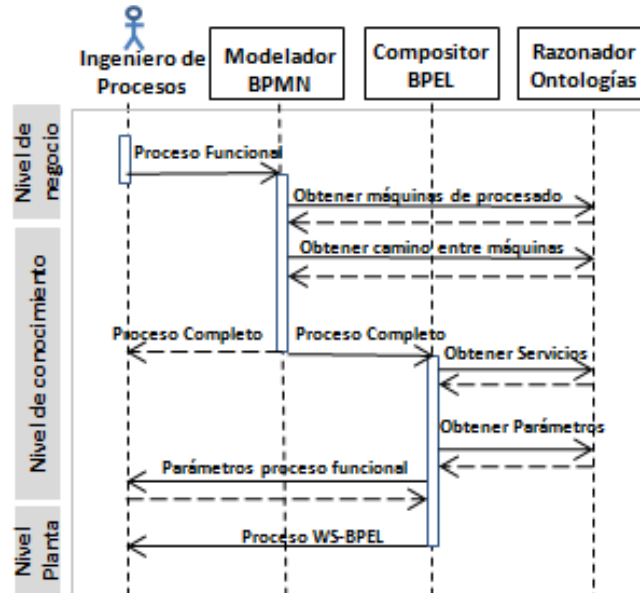


Fig. 6. Diagrama de secuencia de la composición de procesos de fabricación.

Finalmente, se traslada el proceso modelado a nivel abstracto a un formato ejecutable a partir de las ontologías definidas para cada planta (ABox) estableciendo la relación entre los procesos modelados y los servicios que implementarán dichos procesos.

5 Implementación y validación

Para validar la propuesta se ha diseñado un conjunto de experimentos sobre la implementación de un prototipo basada en el escenario propuesto en la figura 4. Estos experimentos se pueden sintetizar en: modelar un proceso con un conjunto limitado de operaciones de fabricación sobre una determinada materia prima; diseñar dos plantas industriales diferentes pero capaces de desarrollar dichas operaciones (pero con diferente maquinaria y diferente estructura física); desplegar el proceso abstracto con las operaciones sobre ambas fábricas; y finalmente, verificar su correcta ejecución.

5.1 Implementación del escenario

El escenario implementado está compuesto por el sistema de información, que contiene la información de los servicios y de las diferentes plantas implicadas en el experimento; por el sistema de gestión, el cual está compuesto por el modelador semántico y el compositor de servicios; y por el sistema de fabricación, el cual está compuesto por dos prototipos de plantas industriales.

El sistema de información (SI) engloba todos los elementos y recursos que utilizan el resto de sistemas de la organización para llevar a cabo las actividades de negocio o de empresa. Entre los elementos que engloba se encuentra el registro UDDI, implementado con el servidor jUDDI v2.0, que almacena la información de los documentos WSDL y BPEL que describen las funcionalidades y procesos de negocio de la organización y permite localizar de forma dinámica los servicios ofrecidos por la maquinaria y su consumo de forma desacoplada. Por otro lado, el SI contiene la ontología de conceptos (TBox) implementada mediante el lenguaje OWL-DL (Ontology Web Language Description Logic), y extendida con el lenguaje de reglas SWRL (Semantic Web Rule Language).

Para implementar el sistema de fabricación IMaaS se han diseñado dos plantas industriales, con diferentes características, tanto físicas como tecnológicas, con las que se validará esta funcionalidad de la propuesta presentada. Ambas fábricas han sido implementadas por la empresa STAUDINGER GMHB, conforme a las especificaciones definidas por el grupo de investigación de Redes y Middleware de la Universidad de Alicante. Estas fábricas están compuestas por una serie de máquinas industriales a escala, las cuales son controladas, a través del protocolo DCOM, por el controlador (ICPDAS I-7055D) que trabaja a través del protocolo RS-485.

En el caso de la fábrica 1 (Fig. 7.a) el control de la maquinaria industrial se lleva a cabo por el dispositivo embebido XPORT. Este dispositivo se ha adaptado para trabajar con el protocolo RS-485, y actúa como middleware entre los elementos de fabricación y el sistema de gestión de procesos de fabricación. En este dispositivo se ha implementado un motor SOAP para dispositivos con recursos limitados gracias al servidor Web que incorpora el dispositivo embebido, que permite ofertar como Servicios Web los procesos y actividades proporcionados por la maquinaria

(Tabla 1). Sobre el motor SOAP se ha implementado un pequeño motor BPEL que es capaz de orquestar y ejecutar los servicios sobre la maquinaria industrial. Además, se han implementado otras funcionalidades SOA, como por ejemplo, la publicación dinámica de los servicios en un registro UDDI v2.0.

En la planta industrial 2 (Fig. 7.b) el control se lleva a cabo con otro tipo de dispositivo embebido como middleware, en este caso basado en un dispositivo MOXA, que ofrece algunas ventajas sobre el XPORT, entre ellas: mayor memoria y capacidades de cómputo que permiten, por ejemplo, implementar completamente la arquitectura SOA. De esta forma se dispone de dos fábricas completamente diferentes en organización física y en dispositivos.

El sistema de gestión de procesos de negocio (BPMS) ha sido implementado mediante plug-ins para la plataforma Eclipse v3.4.1. La herramienta de modelado de procesos se ha realizado a partir de algunas modificaciones sobre el plug-in BPMN Modeler. Para la transformación de BPMN a BPEL se ha utilizado una modificación propia del plug-in BPMN2BPEL y, finalmente, se ha creado un plug-in para el despliegue de documentos BPEL y WSDL sobre los dispositivos embebidos.

Tabla 7. Procesos ofrecidos por la maquinaria industrial involucrada en el experimento

Nombre	Argumentos	Descripción
Conveyor Belt (CB)		
MoveTo Sensor	Direction:INT{1,-1} Sensor:INT{0-N} Stop:BOOL	Mueve la pieza hasta el sensor indicado
MoveToEnd	Direction:INT{1,-1}	Mueve la pieza hasta el final de la cinta
Turntable:Conveyor Belt (TT)		
TurnMove	Direction:INT{1,-1}	Gira la mesa y mueve la pieza hasta el final
Rail Carriage:Conveyor Belt (RC)		
Transport	Direction:INT{1,-1} InputDirection:INT OutputDirection:INT	Recoge la pieza, la mueve hasta la dirección de salida
Machine Tool (MT)		
Process	Time:INT	Mueve la herramienta hasta la pieza y la gira sobre la pieza el tiempo indicado
Machine Multi Tool:Machine Tool (MMT)		
ProcessWith Tool	Tool:INT{0-2} Time:INT	Procesa la pieza con la herramienta indicada.

El sistema de modelado semántico extrae la información del diagrama BPMN, el cual está especificado en lenguaje XML, y se la facilita al razonador, implementado con la herramienta PELLET, que es capaz de trabajar sobre ontologías OWL-DL con extensiones de reglas SWRL.

A partir del modelo completo del proceso se realiza su compilación. Este módulo de compilación (Service compositor) hace uso de un mapeado entre un subconjunto de las posibles estructuras de un diagrama en notación BPMN y la correspondencia de estas estructuras en el lenguaje WS-BPEL.

El Service Compositor también se basa en los razonamientos realizados con PELLET para extraer la información referente a los servicios que implementan determinados procesos.

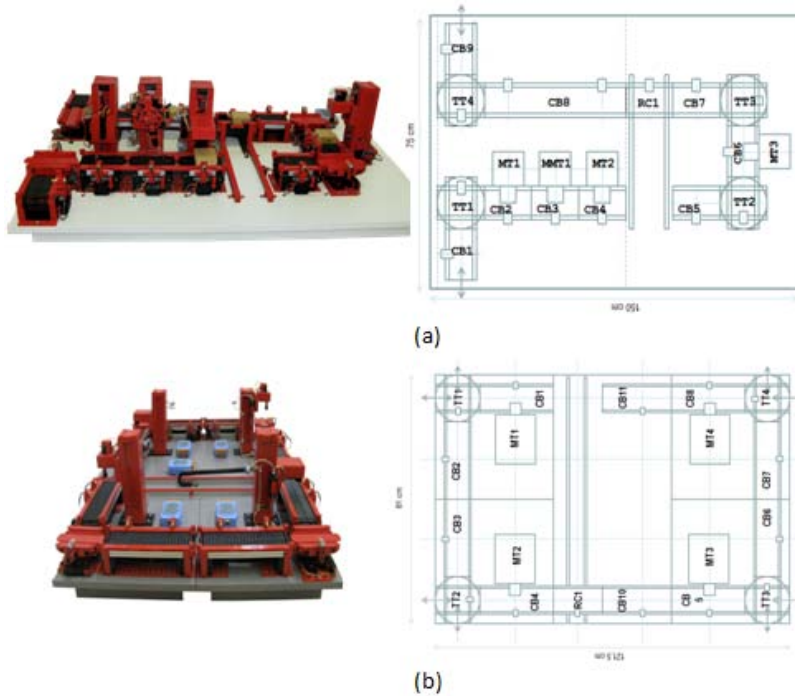


Fig. 7. Comparación entre la planta industrial 1 (a) y la planta industrial 2 (b).

5.2 Diseño de los experimentos

Para ello, las pruebas consisten en, a partir de un diagrama de un proceso funcional, lograr de manera automática dos procesos ajustados a las características de las plantas industriales (Fig. 7.a. y 7.b.) gracias a los razonamientos realizados sobre la ontología que contiene la información de dichas plantas.

Más concretamente, se ha introducido en la herramienta de modelado un diagrama, en notación BPMN, que represente un proceso funcional a desarrollar en cualquiera de las fábricas disponibles, para posteriormente realizar una composición automática del proceso en función de la fábrica elegida para desplegar el proceso a partir del modelado completo. Una vez se dispone del modelado del proceso completo, se realiza el descubrimiento automático de los servicios y se traduce el proceso a un lenguaje ejecutable como es BPEL, intentando minimizar la interacción del usuario en este proceso, logrando que sólo deba preocuparse por facilitar los parámetros de los servicios involucrados en el proceso funcional.

El proceso funcional diseñado para el experimento corresponde con el mostrado en la figura 8.a. Este proceso consta de tres subprocesos realizados de manera secuencial: el taladrado, el pulido y el lijado. Por simplicidad se entiende que cuando se realizan estos tres procesos sobre una materia el proceso acaba. Sin embargo, en un entorno real, el proceso finalizaría cuando se sacara la materia de la cadena de procesado.

5.3 Análisis de los resultados

En la fábrica 1 (Fig. 7.a.), la máquina que realiza el proceso de taladrado es la identificada como MT2, la máquina que realiza el proceso de pulido es la identificada como MT1, y la que realiza el proceso de pintado es la identificada como MT3. Inicialmente la materia se encuentra situada en la cinta transportadora CB9, y la materia procesada se dejara en la cinta CB6, que coincide con la última posición donde será procesada.

Con la información contenida en el diagrama funcional se ha realizado la composición del proceso completo a partir de la ontología que contiene la instanciación de la planta 1. Se han realizado una serie de razonamientos sobre la ontología, lo que ha permitido saber qué servicios implementan los procesos especificados, qué máquinas ofertan esos servicios y qué posibles caminos se pueden establecer entre esas máquinas. Como resultado se ha obtenido un proceso completo compuesto por un total de 18 procesos, de los cuales 3 pertenecen al proceso funcional y 15 procesos han sido identificados e introducidos automáticamente. En este caso, estos procesos introducidos automáticamente se corresponden con procesos de desplazamiento de la materia prima. De esta forma, se identifica de manera automática el camino que debe seguir la materia a través de las diferentes máquinas para completar el proceso. A partir del proceso completo modelado se ha realizado la traducción a un lenguaje ejecutable, en concreto a una hoja BPEL, como se ha explicado en la sección anterior. De esta forma se han descubierto automáticamente los 18 servicios asociados a los 18 procesos del proceso modelado, en una relación uno a uno, estos 18 servicios suman un total de 28 parámetros, de los cuales tan solo 3 parámetros corresponden a los servicios relacionados con el proceso funcional. Es decir, 25 de los parámetros implicados en el proceso completo han sido seleccionados automáticamente a partir de la especificación en la ontología de la planta industrial 1. Estos parámetros se corresponden a la invocación de 8 servicios (8 parámetros) llamados MoveToEnd ofertados por diferentes cintas transportadoras (CB), 2 servicios (2 parámetros) TurnMove, ofertados por las mesas de giro (TT), 2 servicios Transport (6 parámetros) ofertados por el raíl de carga (RC1), 3 servicios MoveToSensor (9 parámetro) que sitúan la materia en la posición que pueda ser procesada por las máquinas herramienta, 3 servicios llamados Process (3 parámetros) ofertados por las máquinas herramientas (MT) para realizar las transformaciones de la materia prima.

En la Figura 8 se puede apreciar la diferente complejidad entre modelar procesos funcionales de forma genérica Figura 8.a. y modelar proceso en función de la planta en la que se vayan a desplegar Figura 8.b.

De la misma forma, se ha calculado automáticamente el proceso completo para la fábrica 2 (Fig. 7.b.) a partir del mismo proceso funcional. En este caso los procesos son llevados a cabo por otras máquinas, la máquina MT1 implementa el proceso Taladrado, la máquina MT2 implementa el proceso Pulido y la máquina MT4 implementa el proceso Pintado. La máquina donde se encuentra inicialmente la materia es la identificada como TT1, y la materia procesada se depositara en la mesa TT2.

Para la planta 2 se ha obtenido un proceso compuesto por 15 subprocesos, de los cuales, 3 pertenecían al proceso funcional y 12 han sido identificados e introducidos de manera automática.

Este proceso modelado en notación BPMN ha sido traducido automáticamente al lenguaje BPEL, identificándose de manera automática 15 servicios implicados en el proceso (Fig. 9).

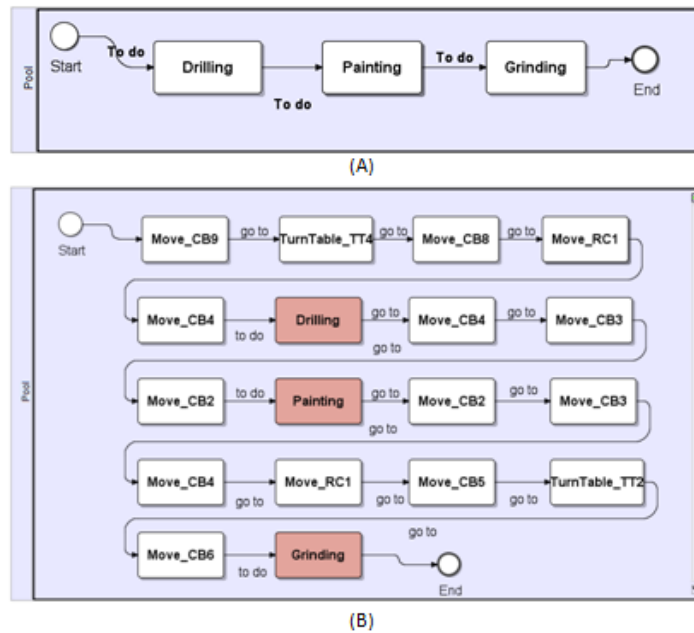


Fig. 8. Comparación entre el proceso funcional propuesto (a) y el proceso completo desplegado para la planta 1 (b).

Estos 15 servicios suman un total de 25 parámetros distribuidos de la siguiente forma; 6 servicios MoveToEnd (6 parámetros), 1 servicio TurnMove (1 parámetro), 2 servicios Transport(6 parámetros), 3 servicios MoveToSensor (9 parámetros) y 3 servicios Process (3 parámetros). De estos parámetros, 22 han podido ser calculados a partir de la información contenida en la ontología, mientras que los tres parámetros asociados a los servicios Process han tenido que ser facilitados por el usuario en tiempo de compilación.

Con las pruebas realizadas se ha visto que se logra un elevado grado de automatismo en la composición y posterior traducción de los procesos modelados con este sistema. En concreto, se ha logrado una automatización del 100% en el descubrimiento de servicios, una automatización del 89,28% en el cálculo de parámetros necesarios para la invocación de los servicios en el caso de la planta 1 y del 88% en el caso de la planta 2, una automatización en la composición de los procesos de fabricación del 83,3% en el caso de la planta 1 y del 80% en el caso de la planta 2.

Estos resultados representan una gran disminución en las labores de modelado y posterior despliegue de procesos, ya que se ha conseguido un gran nivel de automatización, lo que implica un gran nivel de abstracción a la hora de desarrollar estas labores.

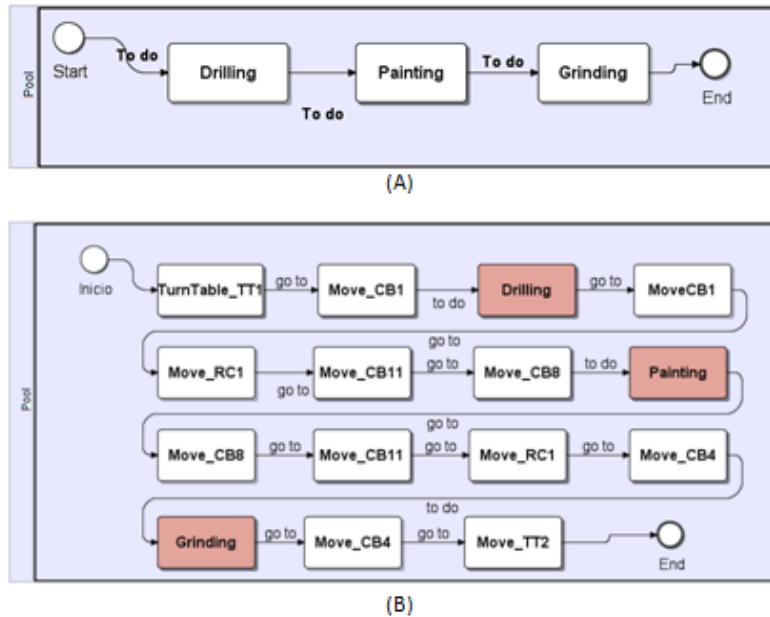


Fig. 9. Comparación entre el proceso funcional propuesto (a) y el proceso completo desplegado para la planta 2 (b).

6 Conclusiones

En este trabajo se ha presentado un modelo y una arquitectura basada en SOA para el modelado ágil de procesos de fabricación independiente de las infraestructuras donde se van a implantar. La propuesta se basa en el uso de ontologías para componer automáticamente los procesos concretos que se deben realizar para una planta industrial dada, a partir de un modelo de los procesos genérico e independiente de la planta industrial en la que finalmente se despliegue y sus infraestructuras. Estos procesos modelados se han traducido automáticamente a un entorno ejecutable logrando un automatismo cercano al 90%. Además, gracias a que la propuesta está basada una arquitectura SOA, implementada mediante Servicios Web, el modelo propuesto para la gestión de los procesos es independiente de las tecnologías y del hardware de las diferentes plantas industriales.

Esta propuesta abre la posibilidad al modelado de procesos de fabricación más complejos y concurrentes, ya que gracias al automatismo alcanzado, y al grado de abstracción logrado desde el nivel de negocio se pueden abordar procesos más

complejos, dejando al sistema el control de la concurrencia sobre determinados recursos y el cálculo de las rutas óptimas para realizar dichos procesos.

En la actualidad estamos trabajando en incorporar al modelo propuesto un sistema que permita la monitorización y regeneración de procesos de fabricación en tiempo de ejecución, de manera automática ante posibles fallos de la maquinaria industrial implicada en los procesos.

Referencias

1. C. YOUNGHWAN, K. KWANGSOO, K. CHEOLHAN. "A design chain collaboration framework using reference models". *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 26 (1) pp. 183-190. July, 2005.
2. J. Jeston and J. Neils. "Business Process Management. Practical guide to successful implementations". Elsevier, 2006.
3. H. Smith and P. Fingar. "Business Process Management. The Third Wave". Meghan-Kiffer, 2002.
4. J. F. Chang. "Business Process Management Systems. Strategy and Implementation". Auerbach Publications, 2005.
5. S. L. S. Worthington, W. Boyes. "E-Business in Manufacturing: Putting the Internet to work in the industrial enterprise". ISA Press, 2002.
6. V. Gilart-Iglesias, F. Maciá-Pérez, D. Marcos-Jorquera and F. J. Mora-Gimeno. "Industrial Machines as a Service: Modelling industrial machinery processes". *Proc. of 5th International IEEE Conference on Industrial Informatics (INDIN'07)*. Vienna, 2007.
7. F. Macia-Perez; V. Gilart-Iglesias; A. Ferrandiz-Colmeiro; J.V Berna-Martinez; J. Gea-Martinez. "New Models of Agile Manufacturing Assisted by Semantic". *Proceedings of the IEEE EDOC 2009 workshops and short papers*, pp 336-343, Auckland 2009.
8. R. P. Moreno. "Ingeniería de la automatización industrial". Ra-Ma, Madrid, Spain, 2004.
9. Transparent Factory. Manual de usuario y planificación. [Online] Available: <http://www.modicon.com>, 2001.
10. U. Topp, P. Müller. "Web based service for embedded devices". *International Workshop on Web Service: Research, Standardization and Deployment (WS-RSD'02)*. Lecture notes in computer science.
11. A.P. Kalogeras, J.V. Gialelis, C.E. Alexakos, M.J. Georgoudakis, S.A. Koubias. "Vertical integration of enterprise industrial systems utilizing Web Service." *Proc. of the 5th IEEE International Workshop on Factory Communication System (WFCS 2004)*, Technical University of Vienna, Vienna, Austria, 22-24 September 2004.
12. F. Jammes, H. Smit. "Service-Oriented paradigms in industrial automation," *IEEE Transaction on industrial informatics*. VOL I. n° 1, pp. 62-70. 2005.
13. R. P. Moreno. "Ingeniería de la automatización industrial". Ra-Ma, Madrid, Spain, 2004.
14. V. Gilart-Iglesias, F. Maciá-Pérez, J.A. Gil-Martínez-Abarca and A. Capella-D'alton. "Industrial Machines as a Service: A model based on embedded devices and Web Services". *Proc. of 4th International IEEE Conference on Industrial Informatics (INDIN'06)*. Singapore, 2006.
15. A. Gomez-Perez, M. Fernandez-Lopez, O. Corcho. "Ontological Engineering". Springer. 2004.

16. Borgo, S., Leitão, P., “Foundations for a Core Ontology of Manufacturing”, *Ontologies. A Handbook of Principles, Concepts and Applications in Information Systems* vol. 14, pp 751-775, Springer, 2007.
17. A. Siadat, J. Y. Dantan, A. Semenenko, S. Lemaignan. “MASON: A proposal for ontology for Manufacturing Domain”. *Proc. of the IEEE Workshop on Distributed Intelligent Systems: Collective Intelligence and Its Applications (DIS’06)* 2006.
18. P. Martín and A. D’Acunto. “Design of a production system an application of integration product-process”. *Int. J. Computer Integrated Manufacturing*, 16(7-8):509–516, 2003.
19. Y. Al-Safi, Valeriy Vyatkin. “An Ontology-Based Reconfiguration Agent for Intelligent Mechatronic Systems”. *Proc. of the 3rd international conference on Industrial Applications of Holonic and Multi-Agent Systems. LNAI 4659*, pp. 114–126, 2007. Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2007.
20. J. L. Martínez-Lastra, I. M. Delamer. “Semantic Web Services in Factory Automation: Fundamental Insight and Research Roadmap” .*IEEE Transactions On Industrial Informatics*. vol 2. n°1. feb 2006.
21. I. M. Delamer. “Event-based Middleware for Reconfigurable Manufacturing Systems: A Semantic Web Services Approach”. *Doctoral thesis. Tampere University of technology*. 2006.
22. Y. Yamato, Y. Nakano, H. Sunaga. “Study and Evaluation of Context-Aware Service Composition and Change-Over Using BPEL Engine and Semantic Web Techniques.” *Proc. of the Fifth IEEE Consumer Communications & Networking Conference”. (CCNC) 2008*.IEEE Computer Society.
23. W. Ren, G. Chen, D. Chen, C. Ping-Low, C. Sun, J. Bing-Zhang, Z. Yang . “Search for Service-Oriented Strategies of Dynamic Composition of Web Services: A Comparative Perspective”. *33rd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*. 2007.
24. C. Pedrinaci, C. Brelage, T. Lessen, J. Domingue, D. Karastoyanova, F. Leymann. “Semantic Business Process Management: Scaling up the Management of Business Processes”. *2nd IEEE International Conference on Semantic Computing (ICSC) 2008*, IEEE Computer Society