

# **Sistema de gestión para elementos de producción alineado con los sistemas TIC de la organización**

Diego Marcos Jorquera, Francisco Maciá Pérez, Luis Felipe Herrera Quintero,  
Juan Carlos Monllor Pérez, José Vicente Berná Martínez

Departamento de Tecnología Informática y Computación  
Universidad de Alicante  
{dmarcos, pmacia, lfherrera, jcarles, jvberna}@dtic.ua.es  
<http://www.dtic.ua.es>

**Resumen.** En este artículo se propone un sistema de gestión para los elementos de producción industrial que introduce un conjunto de métodos, modelos y arquitecturas concebidos para proporcionar un marco de referencia que permita especificar, implementar e implantar sistemas de mantenimiento dentro del modelo global de negocio, todo ello integrado con los sistemas TIC de la organización. La principal consecuencia de aplicar estas técnicas es que, al tiempo que proporcionan un enfoque adecuado para la gestión de este tipo de infraestructuras, posibilitan la evolución desde modelos de producción masiva hacia los modelos de personalización masiva, acercando cada vez más los objetivos de la organización a los intereses y gustos de sus clientes. En este trabajo se presenta una revisión de las tecnologías en los ámbitos implicados; se propone un sistema de mantenimiento para los sistemas de producción basado en la gestión de las TI e integrado con el sistema empresarial; se analiza su implantación y funcionamiento; y, finalmente, se exponen las principales conclusiones que se desprenden del trabajo junto con las líneas futuras de investigación.

## **1 Introducción**

El mercado demanda cada vez más productos personalizados para satisfacer los gustos de sus clientes y la fabricación a medida se muestra como una de las vías más efectivas para abaratar costes y amortizar las altas inversiones que requieren estos nuevos enfoques.

Internet y el uso que las organizaciones y los clientes hacen de ella alienta cada vez más esta tendencia, posibilitando un acceso rápido, global y personalizado a un catálogo de productos cada vez más amplio y variado.

La solución se encuentra en los nuevos modelos de negocio, como la fabricación ágil —sistemas con una alta capacidad de flexibilidad y dinamismo que permiten una rápida adaptación de la producción en función de la demanda del mercado.

Las TI también pueden ser una valiosa herramienta para alcanzar estos objetivos, siempre que sean éstas las que se pongan al servicio del negocio, proporcionándole la

funcionalidad que precisa, pero sin incrementar la complejidad de los procesos ni del mantenimiento de los sistemas.

En este artículo se propone un sistema de mantenimiento de los elementos de producción (apartados 3 y 5) basado en tecnologías informáticas que incorpora los conceptos de alta disponibilidad y continuidad en el negocio a los niveles de planta de la organización, aportando la robustez y, sobre todo, la flexibilidad que se precisa para implantar nuevos modelos de negocio. El sistema de mantenimiento está concebido como un modelo que contempla su integración dentro del modelo global del negocio y se presenta como un patrón de diseño (apartado 4) que determina cómo especificar, implementar e implantar sistemas de gestión para los recursos de producción basados en las TI. El objetivo principal es que la utilización de estos sistemas no implique la incorporación y el mantenimiento de nuevos servicios e infraestructuras TI, sino que se pueda hacer de una forma totalmente integrada con los procesos, servicios e infraestructuras existentes en la organización. Junto con el modelo y la implementación del sistema, se presenta una revisión del estado del arte en los aspectos relacionados (apartado 2), la arquitectura de servicios (apartado 6), un prototipo funcional del sistema (apartado 7) y las principales conclusiones que se desprenden del trabajo, junto con las líneas futuras de trabajo (apartado 8).

## 2 Background

Ya sea mediante modelos o técnicas como la fabricación flexible, la personalización masiva o la producción ajustada, se deben buscar mecanismos que doten a los sistemas de mayor flexibilidad para adaptarse de forma dinámica a los cambios y que les permita integrarse con los elementos existentes en la organización para lograr una gestión global. Uno de los modelos de producción que mejor se adapta a los nuevos requisitos derivados, en gran parte, de la evolución de Internet y de las TI [1] es la fabricación ágil. La fabricación ágil se puede definir como un modelo de producción que integra la tecnología, los recursos humanos y la organización a través de las TI para otorgar flexibilidad, rapidez, calidad y eficiencia y permite responder de forma deliberada, efectiva y coordinada ante cambios en el entorno. Este modelo de producción es el

En la literatura se encuentra abundantes contribuciones con enfoques muy diferentes, como la utilización de sistemas de control inteligentes [2], las ventajas de las tecnologías de agentes [3] o los efectos derivados de la evolución de las TIC [4], que evidencian el gran interés de la comunidad científica por estos temas.

Para poder abordar los cambios con garantías, están emergiendo nuevos modelos de producción cuyos principales requerimientos se centran en lograr sistemas robustos, escalables o reconfigurables, manteniendo procesos simples y transparentes. Los sistemas flexibles juegan un papel fundamental en estos modelos.

La flexibilidad es una característica que debe cumplirse en diferentes ámbitos dentro de una organización manufacturera. Podemos encontrar flexibilidad de: maquinaria, producción, mezcla, rango de producto, volúmenes de producción, entrega, enrutado, expansión y respuesta [5]. El común denominador en este tipo de enfoques es la necesidad de modelos que aportan adaptabilidad, agilidad, capacidad

de integración, dinamismo, tolerancia a fallos, continuidad del negocio y escalabilidad.

Uno de los principales frentes abiertos en este campo es la integración de los procesos de producción con el resto de procesos del negocio. Debido a limitaciones físicas y tecnológicas, los procesos de producción no han conseguido alcanzar el nivel de integración y automatización deseables, teniendo que ser contemplados, en la mayor parte de los casos, como sistemas heredados. Por suerte, se ha ido avanzando mediante diferentes propuestas de naturaleza muy diversa. Las primeras propuestas se centraban en modelos tradicionales de automatismos basados en protocolos propietarios situados en el nivel de recursos del modelo eBusiness, como sistemas externos a los procesos de negocio (Modbus, Profibus, AS-I, FIPIO, DeviceNET, Interbus o Ethernet industrial), constituyendo los primeros intentos por facilitar su integración con los componentes de negocio [6]. En otros casos, como el propuesto por Schneider [7], se opta por la incorporación de dispositivos embebidos (con conexión Ethernet, soporte TCP/IP e incluso servidor web integrado) bajo conceptos como transparent factory. En [8] se propone aprovechar estas mismas técnicas para elevar el nivel de abstracción de los elementos de producción hasta el nivel de empresa, de forma que la integración de recursos, procesos y, en general, la lógica de negocio, se produzca de una forma natural y transparente dentro de los modelos de negocio existentes. Finalmente, también en el marco de proyectos europeos de investigación se encuentran importantes iniciativas que avalan el interés de esta línea, con importantes resultados que avanzan hacia SOA y dispositivos embebidos en la maquinaria industrial como tecnologías válidas [9].

La incorporación de sistemas de gestión en la industria comenzó a partir de los años 90, con la utilización de mecanismos de control más abiertos y flexibles que mejoran las prestaciones de los autómatas programables [6]. Aunque la potencia y conectividad de estos nuevos componentes han ido facilitando la integración a todos los niveles de los procesos de fabricación [10], su aplicación indiscriminada o poco planificada, la falta de estándares y su complejidad inherente, han generado un nuevo problema: su gestión .

Los primeros estándares abiertos que trataron de abordar la gestión de dispositivos de una manera genérica fueron SNMP y CMIP [11], especificados por el IETF; ambos protocolos orientados principalmente a la supervisión y control de la red.

El elevado número de tareas asociadas con la gestión de redes, así como su alta diversidad y complejidad, hace que las labores de mantenimiento de estos sistemas supongan un alto coste para las organizaciones tanto en recursos como en tiempo y personal. Muchas compañías apuestan por sistemas de administración que incorporen características de autogestión y autoconfiguración que faciliten, la gestión de las redes [11]. Ejemplos de estos sistemas son: Solstice Enterprise Manager de Sun y NESTOR.

La utilización de sistemas multi-agente para la gestión redes de computadores aporta una serie de características que favorecen la automatización y desatención en los procesos de mantenimiento [12]. La creación de proyectos como AgentLink III, la primera Acción Coordinada sobre Computación Basada en Agentes, financiada por el 6º Programa Marco de la Comisión Europea, es un claro indicador del alto grado de interés que en la actualidad despierta la investigación sobre agentes software.

Dentro de los sistemas de mantenimiento existentes, los sistemas de alta disponibilidad, recuperación ante desastres y autogestión, aplican técnicas que pretenden evitar, o al menos minimizar, los tiempos de inactividad provocados por fallos o incidencias en los servicios ofertados [13], permitiendo realizar una restauración completa de la información de los equipos en tiempos acotados. Con estos mecanismos se eliminan los problemas derivados de la degradación o pérdida de la información almacenada y también se facilita la puesta en marcha de nuevos equipos, replicando la información obtenida a partir de un modelo de similares características.

En la actualidad existen diversos sistemas de regeneración entre los que cabe destacar, en el ámbito comercial: Ghost de Symantec y REMBO; como proyectos de código abierto: Clonezilla, G4L, Linbox y UDP Cast [14]. El principal inconveniente que presentan todos estos sistemas es su alta dependencia de la tecnología a recuperar. Esto obliga a tener que aplicar múltiples soluciones para cubrir el abanico tecnológico de la organización. En el Departamento de Tecnología Informática y Computación de la Universidad de Alicante se ha desarrollado Gaia [15], un sistema de regeneración multiplataforma, basado en código abierto. El sistema está diseñado de forma modular, basándose en un sistema multiagente, lo cual permite su adaptación para nuestros intereses en este entorno.

### 3 Propuesta del sistema de mantenimiento

La propuesta se centra en un sistema de mantenimiento para los elementos de producción industrial que permite instalar, mantener, actualizar y reconfigurar los elementos de producción, actuando sobre los sistemas computacionales de control, bien embebidos, bien externos, que regulan dicha maquinaria industrial.

Las principales tareas que realizará el sistema de mantenimiento son:

- Mantenimiento del software: actualización o instalación de aplicaciones que residen en los elementos de producción con sistemas embebidos. El mantenimiento también puede contemplar la actualización de componentes del sistema operativo sobre el que se sustenta el dispositivo (drivers, configuraciones, etc.)
- Puesta en marcha de nuevos equipos: instalación completa de un nuevo dispositivo incluyendo sistema operativo y aplicaciones.
- Regeneración de equipos: restauración completa de la información contenida en un elemento de producción.
- Reconfiguración de equipos: reconfigurar los elementos de producción, actuando sobre los sistemas computacionales de control, bien embebidos, bien externos, que regulan la maquinaria industrial.
- Monitorización: observación de la funcionalidad de un elemento de producción bien mediante el análisis del tráfico de red o bien mediante tests periódicos de sus componentes.
- Inventario: recopilación de los equipos y dispositivos existentes en la red y de sus componentes y características principales.

Las ventajas inmediatas de la propuesta son:

- Aplicación de las metodologías TIC para alcanzar la gestión y autogestión de los elementos de producción.
- Reducción de los tiempos de mantenimiento y puesta en marcha de la maquinaria industrial, evitando las configuraciones manuales.
- Adaptación dinámica a los cambios de producción.
- Reducción de los tiempos de puesta en marcha de nuevos dispositivos en casos de sustitución por avería o ampliación.
- Detección y corrección proactiva de errores y averías en los componentes de fabricación.

El sistema se concibe para facilitar la adaptación de la organización a los nuevos modelos de producción caracterizados por un entorno dinámico cambiante y que precisa nuevos enfoques en la gestión y organización de las empresas [1]. Su concepción se ha realizado dentro de un modelo más general que determina cómo especificar, diseñar e implantar sistemas de gestión para los elementos industriales, manteniendo la sencillez en las tareas de gestión y logrando la integración de los procesos.

		De maquinaria	De producción	De mezcla	Del rango del producto	De volumen	De entrega	De empujado	De expansión	Niveles de flexibilidad
Aportación de las TIC	Automatización	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	Reconfiguración	x	x	x	x	x	x	x	X	
	Desatención	x	x	x	x	x	x	x	x	
	Planificación		x	x		x	x	x		
	Replicación			x			x	x	x	
	Escalabilidad	x		x			x		x	

**Fig. 1.** Relación entre los diferentes niveles de flexibilidad existentes en las organizaciones manufactureras y la aportación de las TIC a los mismos.

Asimismo, la propuesta está orientada a incrementar la flexibilidad de los sistemas de producción flexible existentes que se encuentran generalmente muy condicionados por la electrónica, por lo que el nivel de abstracción que proporciona la incorporación de las TI en su gestión es fundamental para lograr los niveles de flexibilidad deseados en los procesos de producción. En la figura 1 se muestra un cuadro con las principales contribuciones que estas nuevas tecnologías pueden aportar a los diferentes niveles de flexibilidad que se presentan en las organizaciones manufactureras.

El sistema de gestión que se propone se desarrolla como un conjunto de métodos, modelos y arquitecturas concebidos para proporcionar un marco de referencia que permita especificar, implementar e implantar sistemas TI de gestión de los elementos de producción de forma que éstos estén alineados con el modelo de negocio global que rige la organización, así como con los procesos, servicios, recursos y tecnologías existentes.

El sistema está dirigido a la gestión de maquinaria industrial y otros elementos intermedios auxiliares. En el ámbito de la fabricación intervienen una gran variedad de tipos de dispositivos. En función de su complejidad computacional, se pueden clasificar en: **elementos de nivel bajo**, dispositivos sin un sistema computacional; **elementos de nivel medio**, maquinaria o elementos de control que tienen integrada una plataforma computacional que no utilizan paradigmas complejos de las TIC; y **elementos de nivel alto**, maquinaria que incorpora plataformas middleware utilizando paradigmas TIC emergentes (OO, SOA, agentes, HTTP,...).

Para que los elementos de fabricación puedan interactuar con el resto del sistema tenemos que asegurar que cuenten con capacidad de comunicación en red, así como capacidad de procesamiento que posibilite la ejecución del software necesario para llevar a cabo las tareas de mantenimiento.

En el caso de la maquinaria de nivel bajo, para lograr los objetivos de la propuesta, es posible incorporar sistemas embebidos que aporten una plataforma mínima de computación y comunicación posibilitando la interacción con el sistema de regeneración. Esta misma estrategia podría aplicarse en el caso de maquinaria industrial que tenga una plataforma software basada en un sistema propietario cerrado.

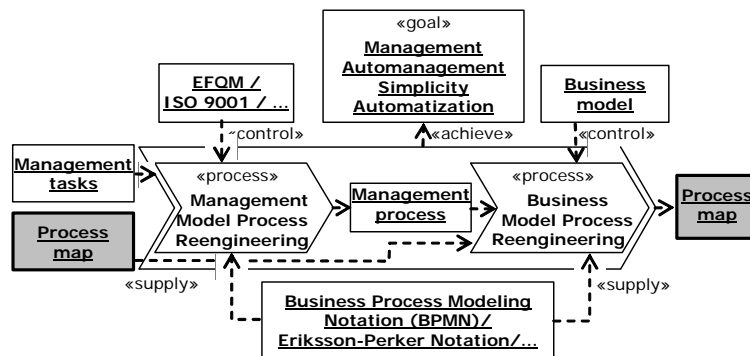


Fig. 2. Reingeniería del mapa de procesos

Concretamente se propone: (1) un *método de integración* que define cuál es el procedimiento a seguir para especificar la actividad de gestión a modo de procesos, siguiendo alguno de los estándares reconocidos, y su incorporación dentro del mapa global de procesos de la organización; (2) el *modelo de gestión* propiamente dicho, basado en un sistema multiagente que recoge todos los elementos conceptuales implicados, su cometido y la relación entre los mismos; (3) una *arquitectura técnica* válida para desplegar un sistema de estas características de forma realista, también definida como patrón de referencia para otros sistemas TI que daban incorporarse en los niveles de fabricación pero, siempre, integrados con las infraestructuras y servicios TI existentes; y (4) un prototipo de sistema de gestión mediante dispositivos embebidos conectados a los elementos de producción.

#### 4 Método de integración

El modelo propone un método para integrar las tareas de gestión dentro del modelo global de la organización. El primer paso (ver figura 2) consiste en modelar estas tareas (scripts, aplicaciones o módulos) como procesos, siguiendo la misma metodología empleada para el resto de procesos del negocio como los estándares en sistemas de gestión de calidad ISO y EFQM.

Una vez definidas las nuevas fichas de proceso, se asignará como responsable de las mismas al agente software que tenga encomendada esa misma tarea. Los nuevos procesos de negocio se incluirán dentro del mapa general de procesos. Para ello, se deberá reajustar el *workflow* de aquellos procesos del modelo general que se hayan visto afectados. Estos cambios serán los mínimos necesarios para enlazar los antiguos procesos de la organización con los nuevos creados, preso sin modificar sustancialmente el modelo existente.

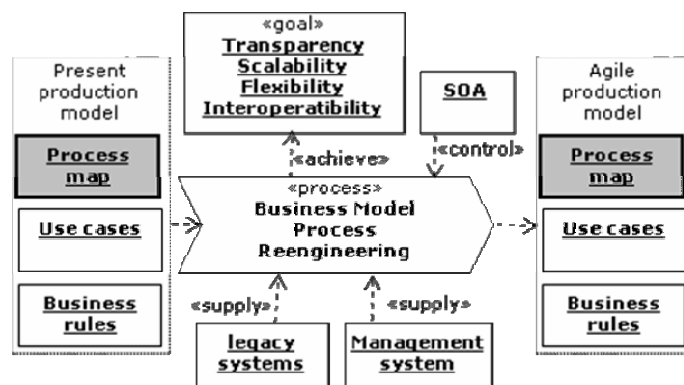


Fig. 3. Reingeniería del modelo de producción

En un segundo paso, mucho más ambicioso, se pretende modificar el modelo de producción actual utilizando los nuevos procesos creados en el paso anterior para obtener un modelo de producción ágil (ver figura 3). En este paso sí se producirían cambios sustanciales en el *workflow* de los procesos principales, permitiendo utilizar los nuevos procesos de mantenimiento para realizar de forma integrada y automatizada tareas como por ejemplo la reconfiguración de elementos industriales que nos permita adaptar la maquinaria a la producción, consiguiendo así un modelo de producción ágil. Para ello se propone, basándonos en la metodología SOA, la creación de una capa de servicios que encapsule la lógica de negocio del sistema de gestión y de los sistemas heredados y que permita, mediante orquestación, la composición de servicios más complejos que implementen el flujo de trabajo de cada proceso de negocio.

## 5 Modelo de administración

El modelo de administración se ha basado en un sistema multiagente en el que los agentes representan las entidades responsables de ejecutar las actividades de control y de gestión, no sólo de los elementos de producción, sino también, de los servicios TI que se ponen a su disposición para este objetivo.

En este sistema multiagente el conjunto de tareas se ha definido tomando como referencia los procesos, subprocesos y actividades identificadas y definidas aplicando el método de integración definido en el apartado anterior.

En la tabla 1 se ha recogido un breve ejemplo con las principales tareas de gestión asociadas con un proceso de restauración del software y configuración de un equipo industrial.

**Tabla 1.** Tareas asociadas al servicio de administración

Name	Description
wake_up	Wake up a manufacture component starting his <i>boot</i> process sending a special network datagram like WoL
get_configuration	Obtains the stored configuration of a manufacture component
put_configuración	Stores the configuration of a manufacture component
get_agente	Transfers an agent from the agent farm to the manufacture component
configure	Configure a manufacture component
get_management_plan	Obtains the maintenance plan for a manufacture component
init_agent	Starts the functionality of an agent
get_next_production_order	Gets the next production order to process
put_logs	Stores the activity logs
shutdown	Shutdown or reboot a manufacture component

Para determinar los agentes que precisa el sistema y su responsabilidad, en primer lugar se han identificado diferentes roles. En la tabla 2 puede observarse cuáles son los principales roles identificados para el proceso de restauración desde los equipos industriales.

**Tabla 2.** Roles de los posibles agentes implicados en la administración

Id	Rol	Objetivo
RGN	Regeneración	Reconfigurar la información de un elemento de fabricación
INV	Inventario	Almacenar y dar acceso a la información del sistema
MOV	Movilidad	Desplazar el agente por el sistema
INT	Interacción	Interactuar con los administradores
PLN	Planificación	Planificar y desencadenar el proceso de reconfiguración
GST	Gestión	Gestionar los parámetros del sistema

A partir de los roles identificados, se propone un conjunto de agentes necesarios para desarrollar las tareas asociados a cada proceso y se les caracteriza mediante la asignación de unos determinados.

En la tabla 3 se muestra una lista con los principales agentes involucrados en el proceso de restauración de equipos tomado como ejemplo, junto con sus respectivos



roles y la relación entre ellos mismos y con los principales servicios TI que se emplean para alcanzar su objetivo.

Este sistema multiagente, por sí mismo, posee la suficiente complejidad como para tener que abordarlo en trabajos más específicos.

Aunque los distintos servicios de mantenimiento se apoyan en la mayor parte de los servicios generales del sistema, algunos de ellos destacan especialmente (resaltados en gris en la figura 2): el servicio de planificación que se encarga de registrar y programar las tareas de los diferentes agentes que intervienen en el servicio de regeneración; el servicio de inventario que proporciona toda la información sobre las configuraciones hardware y software de los equipos a gestionar; los propios servicios de mantenimiento que proporciona todas las utilidades concretas para desarrollar cada tarea.

**Tabla 3.** Agentes implicados en el sistema de administración

Id	Agente	Roles	Relación con otros agentes	Acceso a servicios	ME			
					MB	M	AUT	LC
RA	Regeneración	RGN	IA	S. Regeneración	▲	▼	▲	▼
		MOV	CNT	S. Log				
SA	Planificación	PLN	IA	S. Inventario	▼	■	▲	▲
			CNT	S. Configuración				
IA	Inventario	INV	CNT	S. Inventario	■	▲	■	■
		MOV		Repositorio SW				
				Sistema Config.				
MA	Gestión	GST	SA	S. Repositorio SW	▲	▼	▼	■
		MOV	IA	S. Configuración				
		INT	CNT					
CA	Contexto	CNT		S. Contexto	▲	■	■	▼
		MOV						

MB – Movilidad, MEM – Almacenamiento, AUT – Autonomía, LC – Ciclo de vida  
▲ – Alto, ■ – Medio, ▼ – Bajo

## 5.1 Trazo del Proceso de Mantenimiento

Aplicando el sistema de mantenimiento propuesto, se puede automatizar la gestión de la maquinaria de una planta de fabricación. Los responsables de ejecutar de forma autónoma y desatendida las tareas asociadas con la regeneración serán los agentes que el sistema, siempre respaldándose en el resto de servicios auxiliares.

El despliegue de los agentes se realiza bajo demanda de la propia maquinaria o mediante iniciativa del sistema, atendiendo una planificación previa.

En determinadas ocasiones, por ejemplo cuando uno de los equipos debe ser regenerado desde, literalmente, cero, se precisa una plataforma mínima para que los agentes puedan desarrollar su labor. En estos casos, antes de comenzar con cualquier tarea de gestión, se enviará un agente de contexto, responsable de proporcionar el middleware adecuado para el resto de agentes. Para realizar esta operación se debe reiniciar el elemento de fabricación. Una vez completado el proceso de boot, el equipo realiza la solicitud de un agente mediante técnicas como PXE. En este caso, el

agente contendrá todo lo necesario para su ejecución, incluyendo un sistema operativo embebido.

Una vez el equipo dispone de una plataforma de agentes operativa, se podrá trasladar un agente de regeneración, responsable de ejecutar las tareas de mantenimiento. El agente de regeneración toma el control del elemento de fabricación, ejecuta tareas iniciales de verificación y configuración muy básicas y solicita al sistema de regeneración, a través de un agente de planificación, su plan de trabajo, pasando a desarrollarlo inmediatamente.

Este plan de trabajo puede incluir tareas como la modificación de determinados archivos de configuración del elemento de fabricación o la regeneración directa del dispositivo mediante instrucciones específicas.

En la figura 4 se muestra un diagrama de secuencia del proceso de mantenimiento de un elemento de fabricación.

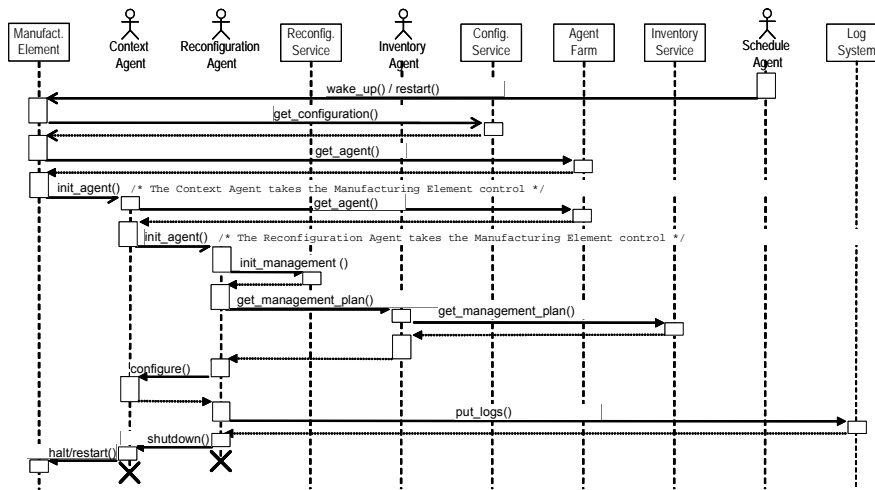


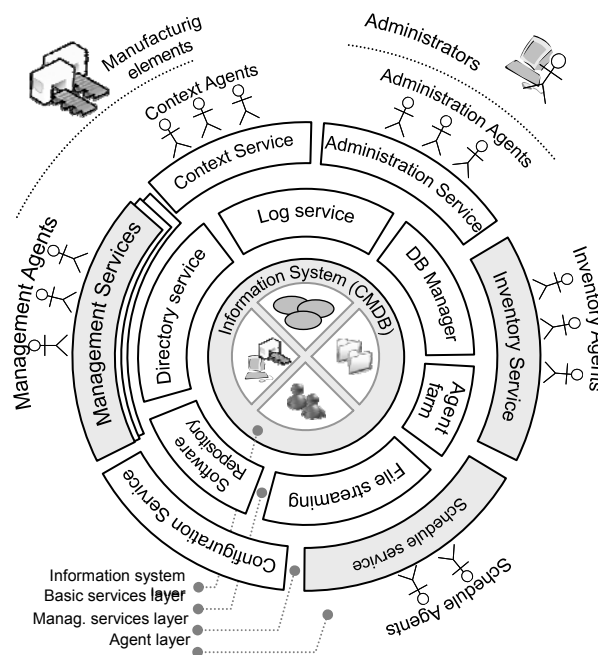
Fig. 4. Diagrama de secuencia de un proceso de administración de un componente de fabricación

## 6 Arquitectura del sistema

La arquitectura propuesta tiene una estructura en capas (ver figura 2). En la primera capa se ubica el sistema de información como el núcleo central del sistema. Es el responsable de recoger toda la información relacionada con los servicios que presta así como información adicional referente a los diferentes recursos de la organización, lo que facilita la automatización de todo tipo de procesos de mantenimiento. Este sistema actúa como una Configuration-Management Database (CMDB), ofreciendo una visión unificada de toda la información de la organización. En su conjunto, el sistema de información deberá formar parte del servicio de información global de la

organización, evitando duplicar la información, los procesos para su captación y mantenimiento y los recursos empleados para proporcionarle soporte. Alguno de los elementos más importantes que gestiona son: inventario de equipos y aplicaciones, repositorio de agentes y software, o directorios de usuarios.

Las dos siguientes capas son capas de servicios: *basic service layer* y *management service layer*. La primera proporciona servicios distribuidos de carácter general, diseñados para prestar apoyo a todo el sistema, por ejemplo: servicio de directorio, de registro o gestor de bases de datos. La *management services layer* está compuesta por los servicios de gestión. Algunos de ellos tienen un carácter más genérico, como los servicios de configuración y administración del propio sistema; mientras que otros proporcionan la funcionalidad concreta que se quería incorporar: reconfiguración, regeneración, mantenimiento del software, monitorización, inventario, etc. Comparándola con una arquitectura más tradicional, este segundo nivel de servicios se correspondería con la capa de aplicación.



**Fig. 5.** Arquitectura de servicios

En la cuarta y última capa (*agent layer*) se ubican los agentes software responsables de ejecutar las tareas de mantenimiento de la maquinaria. Los agentes proporcionan una interfaz de servicios normalizada y permiten incorporar más fácilmente características como: proactividad, autonomía, escalabilidad, ubicuidad y soporte para la heterogeneidad.

Si nos centramos en las propuestas existentes, los agentes vienen a asumir y remplazar a las tradicionales aplicaciones, por lo que, en una arquitectura basada en sistemas multiagente la capa de aplicación es sustituida por la de agentes. En nuestro

caso, permitimos que se mantenga este nivel de aplicaciones convencionales aunque la hemos emplazado en la capa de servicios de gestión. De esta forma los agentes pueden aprovechar las aplicaciones existentes e incorporar sólo las características de movilidad y proactividad que se precisa en los nuevos sistemas. Pro supuesto la propuesta también permite incluir sistemas multiagente que sustituyan por completo la lógica de negocio existente.

Este modelo conceptual se plasma físicamente sobre una arquitectura distribuida de n-niveles. La base de esta arquitectura es la red de comunicaciones. Todos los elementos detallados en el modelo conceptual (recogidos en la figura 5) se emplazarían en la capa de aplicación de esta arquitectura física. Las capas de servicios básicos representan servicios de red y se ubican en servidores concretos. La capa de servicios de gestión se despliegan sobre contenedores de componentes o servicios software distribuidos y el sistema multiagente sobre contenedores de agentes desplegados en servidores de red en el caso de servicios generales o sobre contenedores de agentes ubicados en los propios elementos de producción que se pretende gestionar.

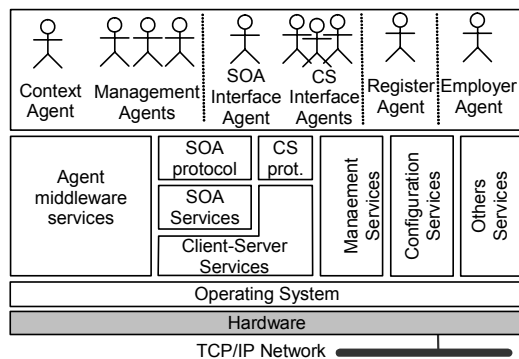


Fig. 6. Arquitectura del dispositivo de administración

La arquitectura del dispositivo de gestión (figura 6) está organizada en forma de capas con una estructura ampliamente aceptada para dispositivos embebidos. En la capa más baja se sitúa el dispositivo hardware, basado en un sistema computacional que incluye un microprocesador, memoria volátil (para la ejecución), memoria no volátil (para el sistema de almacenamiento) y un módulo de comunicaciones para su conexión a la red de datos. Además de estos componentes básicos, es importante destacar la ausencia de elementos mecánicos (como discos duros) y la inclusión de elementos complementarios (como un mecanismo de *watchdog* o alimentación mediante *Power over Ethernet*).

El sistema operativo embebido se sitúa sobre la capa hardware. Con el objetivo de cumplir con los requerimientos de los entornos industriales se ha seleccionado un sistema operativo de tiempo real.

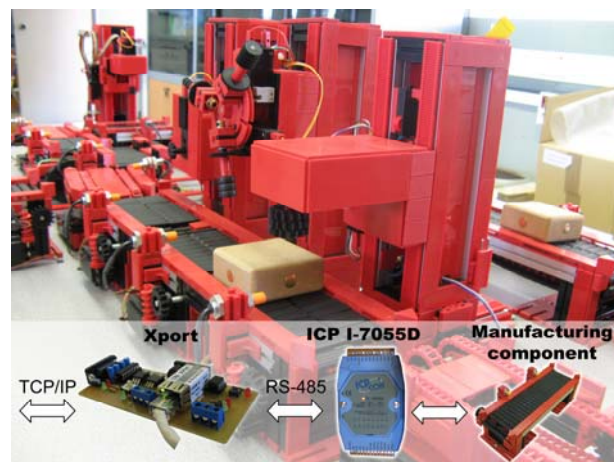
La siguiente capa contiene una plataforma middleware que aporta los servicios necesarios a las aplicaciones. Los dos elementos fundamentales en esta capa abarcan diversos servicios de red, altamente extendidos en el campo de la gestión, los servicios basados en el modelo cliente-servidor (CS) y los basados en arquitecturas

orientadas a servicios (SOA). Estos módulos aportan los servicios básicos para que el dispositivo pueda comunicarse, desde la capa de aplicación, con otros elementos externos. Para adaptar esta comunicación a la sintaxis de las instrucciones del servicio de administración, se ha definido el protocolo de administración tanto en CS como en SOA. Otro de los servicios importantes que se sitúan en esta capa es el núcleo del sistema (management services) que incluye las funcionalidades básicas del mismo. En esta capa también se encuentra la plataforma middleware para los agentes.

Los agentes se sitúan en la última capa (capa de aplicación) siendo estos los responsables de llevar a cabo el servicio.: actuando como interfaz con otros servicios y aplicaciones (CS/SOA agents), registrando el servicio en un registro (Register agent) o realizando los propios servicios de administración (Management agents).

## 7 Escenario de pruebas

Como escenario de pruebas hemos utilizado un prototipo industrial a escala de la empresa *Staudinger GmbH*. El prototipo está compuesto por: un almacén inteligente, una línea de procesado flexible, una unidad de producción, tablas giratorias y cintas transportadoras (ver figura 7).



**Fig. 7.** Escenario de pruebas

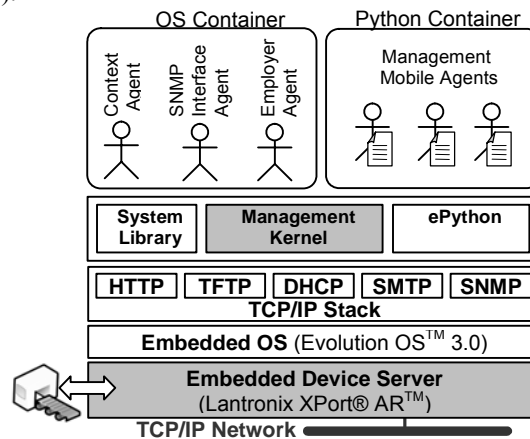
Además en esta sección se presenta la implementación de un prototipo de dispositivo en función de la arquitectura propuesta en la sección anterior, donde se concretan los diferentes bloques estructurales en función de las tecnologías seleccionadas. In la figura 8 se muestra la arquitectura resultante. Los elementos de fabricación tienen como interfaz de entrada-salida un módulo digital de 8 canales *ICP I-7055D*.

La plataforma hardware elegida para el desarrollo del prototipo es un dispositivo *Xport* de *Lantronix* (figura 8) que dispone de un procesador *DSTni-EX* de 16bits y 120MHz de frecuencia con los que se alcanzan 30 MIPS respectivamente. Los

diferentes módulos de memoria que proporciona este dispositivo se encargan, en función de sus características intrínsecas, de tareas específicas: los programas en ejecución y los datos que maneja el dispositivo residen en la memoria SRAM (1,25 MB); la memoria ROM (16 KB) contiene el programa de arranque del sistema y, por último, memoria EEPROM de 4 MB almacena información no volátil pero susceptible de cambio, como la configuración del dispositivo o los programas del sistema que pueden ser actualizados. Estas capacidades son suficientes para los requerimientos de memoria del software desarrollado.

Como elementos de comunicación entre subsistemas se dispone de un bus de datos y direcciones que interconecta la CPU con las memorias RAM, ROM y EEPROM; además, para la comunicación de la CPU con el exterior, se dispone de diversos dispositivos de E/S, entre los cuales destaca una interfaz de red FastEthernet que permite unos más que aceptables ratios de comunicación con el exterior. Además, para el correcto funcionamiento del sistema se dispone de una serie de elementos auxiliares como: un watchdog que monitoriza la CPU e impide que se bloquee; un gestor de la EEPROM (PLC) para el control de las actualizaciones de la misma; un divisor de frecuencias PLL necesario para configurar la frecuencia de reloj del sistema y que facilita el ahorro de energía; una unidad de control encargada de supervisar las señales necesarias para la correcta operación de todos los elementos y un controlador de interrupciones que facilita la gestión de los dispositivos de entrada/salida.

Por último, indicar que el sistema cuenta con cuatro líneas de entrada: una señal de reloj (CLK) ajustable para optimizar el consumo o el rendimiento según necesidades; una señal de reinicio (RST) y las tensiones de alimentación (VDD) y masa de alimentación (VSS).



**Fig. 8.** Prototipo de dispositivo

Como sistema operativo el dispositivo incorpora la versión 3 del *Evolution OS*. Este operativo proporciona una pila TCP/IP junto con la implementación de diversos protocolos de red como HTTP, TFTP, SNMP o telnet.

En la capa de servicios el proceso de implementación ha estado muy condicionado por las características del dispositivo debido a las reducidas capacidades del mismo.

En esta capa se han implementado tres bloques de servicios: el middleware que aporta los mecanismos de comunicación del servicio de administración, el núcleo del servicio y la plataforma de agentes que permite la ejecución de los agentes software.

El middleware de comunicación se ha realizado en función de los protocolos estándar soportados por el sistema operativo. En el prototipo se ha desarrollado un cliente-servidor basado en SNMP. Esta implementación se ha desarrollado en C realizando un analizador sintáctico del protocolo de administración.

El núcleo del servicio se ha desarrollado como una librería de funciones en C que se oferta como un API para el resto de módulos del dispositivo. En esta librería se realizan las funcionalidades básicas del servicio de administración.

Para la implementación de los agentes se ha realizado una división entre agentes estáticos y móviles. Para los primeros se ha desarrollado una implementación ad hoc para el dispositivo en lenguaje C que se ejecutan en el propio contenedor del sistema operativo. Para los agentes móviles se ha establecido como plataforma de ejecución un motor de ejecución de Python. En el prototipo se ha utilizado un motor embebido (ePython versión 2.5) que se ha adaptado a los requerimientos del dispositivo XPort. Los agentes de gestión móviles han sido implementados como scripts de Python.

La comunicación entre el dispositivo computacional y el módulo de entrada-salida del elemento de producción se ha realizado mediante una conexión de dos hilos usando el protocolo RS-485.

## 8 Conclusiones

En este trabajo se ha justificado la conveniencia de integrar los elementos de producción dentro del modelo global de la organización para alcanzar la viabilidad de los nuevos modelos de fabricación ágil.

La investigación se ha centrado en proponer un modelo que permita integrar servicios TI sofisticados en los niveles de producción, alcanzando una integración total con el resto de elementos tecnológicos y un alineamiento con el modelo de negocio existente. A partir de este modelo, se ha especificado un sistema de regeneración de los elementos de producción que facilita la gestión desatendida de estos elementos y de los procesos asociados, incorporando un alto grado de flexibilidad y robustez en los niveles implicados.

El siguiente paso consiste en incorporar semántica en la definición de los servicios de forma que se puedan alcanzar altos niveles de autoconfiguración y autogestión de los elementos de producción.

## Agradecimientos

Este trabajo ha sido desarrollado con la ayuda del *Ministerio de Educación y Ciencia* (TIN2006-04081) y la *Generalitat Valenciana* (GV/2007175).

## Referencias

1. L. Avella y D. Vázquez. Is Agile Manufacturing a New Production Paradigm? *Universia Business Review*, ISSN 1698-5117, N° 6, pp. 94-107, 2005.
2. R. W. Brennan, M. Fletcher y D.H. Norrie. An Agent-Based Approach to Reconfiguration of Real-Time Distributed Control Systems. *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, Vol. 18, N° 4, 2002.
3. I. Giret, V. Julián y V.J. Botti. *Agentes Software y Sistemas Multi-Agente: Conceptos, arquitecturas y aplicaciones. Aplicaciones Industriales de los sistemas Multiagentes*. Pearson Prentice Hall, ISBN : 84-205-4367-5, 2005.
4. D.C. McFarlane, S. Bussmann: Developments in Holonic Production Planning and Control, in: *Int. Journal of Production Planning and Control*, Vol. 11, No. 6, 2000, pp. 522 - 536.
5. N. Slack. The flexibility of manufacturing systems. *International Journal of Operations & Production Management* Vol. 25 No. 12, 2005 pp. 1190-1200.
6. R.P. Moreno. *Ingeniería de la automatización industrial*. Ra-Ma, Madrid, Spain, 2004.
7. *Transparent Factory. Manual de usuario y planificación*. [Online] Available: <http://www.modicon.com>, 2001.
8. V. Gilart-Iglesias, F. Maciá-Pérez, J.A. Gil-Martínez-Abarca y A. Capella-D'alton. Industrial Machines as a Service: A model based on embedded devices and Web Services. 4th International IEEE Conference on Industrial Informatics (INDIN'06), 2006, pp. 630-635.
9. F. Jammes, H. Smit. Service-Oriented paradigms in industrial automation. *IEEE Transaction on industrial informatics*. VOL I. n° 1. Pag. 62-70. 2005.
10. Chang H. A Model of Computerization of Manufacturing Systems: an International Study. *Information and Management* 39 7:605-624. 2002.
11. Kim M, Choi M, Hong JW. A load cluster management system using SNMP and web. *International Journal of Network Management*. 2002. 12 6: 367-378
12. Guo J, Liao Y, Parviz B (2005) An Agent-based Network Management System. In Hamza HM (eds). *Internet and Multimedia Systems and Applications (IMSA 2005)*, Honolulu, pp 20-88
13. Ivinskis K. High availability of commercial applications. In Carey M, Schneider D (eds). *Proceedings of the 1995 ACM SIGMOD international conference on Management of data*, ACM Press, New York, pp 433-434.
14. Cuff JA, Coates GMP, Cutts TJR, Rae M (2004) The Ensembl Computing Architecture. In *Genome Research*, Cold Spring Harbor Laboratory Press 14: 971-975.
15. D. Marcos Jorquera, F. Maciá Pérez, V. Gilart Iglesias y J.A.. Gil Martínez-Abarca. High Availability for Manufacturing Components. 2006 IEEE International Conference on Industrial Informatics, pp 474-479.