

Alta disponibilidad para componentes de fabricación

Francisco Maciá Pérez, Diego Marcos Jorquera, Virgilio Gilart Iglesias

Departamento de Tecnología Informática y Computación, Universidad de Alicante
Carretera San Vicente - Alicante s/n
03690, San Vicente (Alicante), España
{pmacia, dmarcos, vgilart}@dtic.ua.es
<http://www.dtic.ua.es>

Abstract. A medida que las tecnologías de la información van calando en el tejido productivo industrial, tanto más compleja se vuelve su organización. Es imprescindible introducir sistemas de gestión proactivos y autogestionados que aseguren su funcionamiento continuado y, en consecuencia, la continuidad en el negocio. En este artículo se propone un sistema de regeneración de los elementos de producción industrial que traslada el concepto de alta disponibilidad a los niveles de fabricación de la organización, actuando de forma automática, bajo protocolos abiertos, en caso de degradación o caída de alguno de sus componentes y asegurando la vuelta a su funcionamiento normal en tiempos acotados. Junto con esta propuesta se estudia un escenario de desarrollo que ha permitido comprobar la validez del enfoque y verificar la drástica reducción de los tiempos de recuperación, el soporte para la alta heterogeneidad existente en estos escenarios y su alto grado de automatización, llegando prácticamente a prescindir de la intervención del personal de administración del sistema.

1 Introducción

Uno de los sectores donde más repercusión ha tenido la aparición de las nuevas tecnologías es en el sector empresarial, que cada vez basa más su negocio en las tecnologías de la información (TI). Tradicionalmente, la incorporación de estas tecnologías se realizaba separadamente en cada área funcional de la organización, proporcionando solución a problemas concretos. Con el tiempo, y a medida que las tecnologías han ido estando más maduras, el proceso se ha ido realizando de forma integrada, mediante el uso de sistemas como los ERP (Enterprise Resource Planning), facilitando una visión global de la organización, una solución flexible y una mayor velocidad de respuesta a los cambios inherentes en este entorno tan dinámico. Aunque siempre deben ser los objetivos del negocio los que determinen qué infraestructuras tecnológicas deben ayudar a su consecución, es indudable que las TI también han abierto las puertas a nuevos modelos de negocio, como es el caso del e-Commerce.

En este escenario, la dependencia que las organizaciones tienen de las TI es cada vez mayor, al constituir el suelo tecnológico sobre el que se sustentan gran parte de

sus procesos de negocio. Es indispensable establecer los mecanismos que aseguren que dicha infraestructura tendrá un funcionamiento continuado.

En la industria, esta imparable incursión de las TI en los negocios está llegando cada vez más a los niveles inferiores de la empresa, es decir, a los niveles de planta o fabricación. De esta forma, la maquinaria industrial está cada vez menos regida por la mecánica y la electrónica básica, y más por los sistemas computacionales que se están adueñando de estos elementos productivos, posibilitando su verdadera integración en el organigrama empresarial, diluyendo las tradicionales barreras impuestas por las restricciones físicas de estos componentes.

Con los nuevos enfoques, los componentes de fabricación pueden ser contemplados conceptualmente como cualquier otro fragmento del mapa del negocio electrónico, propiciando que la organización pueda evolucionar desde la *fabricación masiva* hasta la *personalización masiva*, convirtiendo en realidad la integración de los canales de suministro y la unificación de proveedores y consumidores bajo una misma infraestructura TI y, sobre todo, bajo los mismos objetivos de negocio —en todo momento centrados en el cliente.

Para asegurar que dichas infraestructuras tendrán un funcionamiento continuado, se debe recurrir a servicios proactivos, capaces de reaccionar preventivamente, antes incluso de que se produzcan los incidentes o, al menos, asegurando que éstos tengan un impacto mínimo sobre la continuidad del negocio mediante una actuación rápida y, en la medida de lo posible, sin intervención de los administradores. Además, cada servicio, cada componente, cada infraestructura, debe procurar su autogestión, minimizando la necesidad de configuración, mantenimiento y recuperación y, todo ello, integrado dentro del modelo y de la arquitectura general del negocio.

En este artículo se propone un sistema de recuperación de los elementos de producción (maquinaria industrial, controladores de bus de campo, controles numéricos, etc.) que replica los conceptos de alta disponibilidad y continuidad en el negocio en los niveles de planta de la organización. Este sistema se presta en forma de servicio, bajo el modelo SOA y se encuentra totalmente integrado con las infraestructuras TI existentes. El trabajo define el servicio, sus características, su organización y los principales elementos que lo componen. Así mismo, se presenta un caso de uso que ha servido para validar la propuesta realizada y que permite mantener operativa una planta de producción, sin apenas intervención humana. Finalmente, se recogen las principales conclusiones extraídas del trabajo y se apuntan las líneas de trabajo que estamos siguiendo en la actualidad.

2 Estado del arte

A partir de mediados de los años 90 la industria comenzó a incorporar mecanismos de control más abiertos y flexibles, como es el caso de los computadores industriales, con el objetivo de mejorar las prestaciones de los autómatas programables [1]. La potencia y conectividad de estos nuevos componentes facilitaron la integración a todos los niveles de los procesos de fabricación [2]. En la actualidad, siguiendo con esta tendencia, la incorporación de sistemas embebidos en los dispositivos industriales está abriendo camino a nuevos modelos de producción donde las TI

tienen una relevancia cada vez mayor [3]. Con la aparición de este tipo de dispositivos, mucho más sofisticados y complejos, surge un nuevo problema, su administración.

En el ámbito de la gestión de las TI, los primeros estándares abiertos que trataron de abordar la gestión de dispositivos de una manera genérica fueron SNMP y CMIP [5], especificados por el IETF; ambos protocolos orientados principalmente a la supervisión y control de la red. Para labores de mantenimiento más complejas, como la instalación de software y configuración de equipos, aparecen soluciones, normalmente restringidas a determinadas plataformas, como es el caso de Microsoft Systems Management Server (SMS) para entornos Microsoft Windows.

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. Por ello, muchas compañías apuestan por sistemas de administración que incorporen características de autogestión y autoconfiguración que faciliten, en lo posible, la gestión de las redes [5][6]. Ejemplos de estos sistemas son Solstice Enterprise Manager de Sun [7] y NESTOR [8].

La utilización de sistemas multi-agente para la gestión de redes de computadores aporta una serie de características que favorecen la automatización y desatención en los procesos de mantenimiento [9][10]. 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 [11][12], 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 de un modelo de similares características.

En la actualidad existen multitud de sistemas de regeneración entre los que cabe destacar, en el ámbito comercial: Ghost de Symantec y REMBO y, como proyectos de código abierto: Clonezilla , G4L , Linbox y UDP Cast [13]. El principal inconveniente que presentan todos estos sistemas es su alta dependencia de la tecnología que se desea 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 [14][15], un sistema de regeneración basado en código abierto que se utiliza para realizar un mantenimiento automático y desatendido de los laboratorios de prácticas de la Escuela Politécnica Superior de esta Universidad y que ha sido objeto en los últimos años de numerosos proyectos de colaboración nacionales e internacionales. Este sistema está concebido para ser totalmente independiente de la plataforma a la que debe proporcionar soporte, por lo que se

convierte en un punto de partida ideal para aplicar las técnicas de recuperación a sistemas industriales y sistemas embebidos.

3 Descripción de la propuesta

El objetivo fundamental de nuestra propuesta es replicar los conceptos de alta disponibilidad y continuidad en el negocio que se aplican en la actualidad en las infraestructuras TI del negocio, a los elementos computacionales embebidos en la maquinaria industrial y demás componentes intermedios empleados para la automatización en la producción —controles numéricos, computadores industriales, autómatas programables, sistemas embebidos, etc.

Para ello, se propone un *servicio de regeneración* de nodos industriales que, ante la caída, degradación y, en general, necesidad de mantenimiento de uno de estos equipos industriales, tome su control y, en cuestión de unos pocos minutos, vuelva a recuperar su operatividad. El servicio sólo podrá ser exitoso si estas tareas se realizan proactivamente, sin intervención humana y con independencia del equipo que va a restaurar.

Obviamente, la independencia entre el servicio y los dispositivos debe sustentarse en una plataforma hardware mínima que ofrezca la funcionalidad básica para que el servicio pueda tomar el control del dispositivo. Esta plataforma se puede concretar en la existencia de un dispositivo de conexión a una red de comunicaciones que soporte algún mecanismo para la transferencia del agente de regeneración (como puede ser Pre-Boot Execution Environment —PXE), y algún mecanismo de encendido por red del dispositivo (por ejemplo, Wake on LAN —WoL).

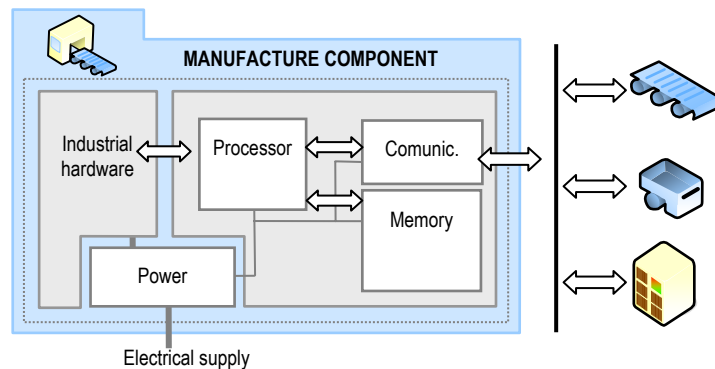


Fig. 1. Arquitectura hardware de un elemento de fabricación.

La arquitectura mínima del dispositivo (ver figura 1) deberá contar con un microprocesador o microcontrolador y capacidad de memoria (tipo RAM, EPROM, Flash RAM, etc.) que deberá permitir la ejecución del agente de recuperación. Finalmente, el sistema software o firmware del dispositivo deberá estar almacenado en algún soporte adecuado (discos magnéticos, memoria flash o similares).

En cualquier caso, la ausencia de alguno de estos elementos no implicaría necesariamente que el servicio de regeneración no pudiera actuar, tan solo querría decir que determinadas tareas requerirían intervención humana (por ejemplo, si el dispositivo no es compatible con WoL o tecnología similar, alguien tendrá que ocuparse de encenderlo).

Como puede observarse, en la definición de los componentes mínimos del dispositivo de fabricación tan solo nos hemos centrado en los aspectos físicos. Esto es debido a que el servicio de regeneración es capaz de recuperarlos desde, literalmente, cero, por lo que el agente de regeneración que se traslade al dispositivo tendrá que prever todo lo necesario para desarrollar su plan.

Además de la recuperación ante desastres en tiempos muy ajustados, el sistema puede proporcionar otros servicios, todos ellos relacionados con la gestión del hardware computacional de los equipos de fabricación: configuración y reconfiguración, actualización, instalación y mantenimiento del software y firmware, tareas de gestión del sistema, monitorización, la detección y gestión proactiva de averías o la realización de un inventario de los elementos.

Las principales características de la propuesta se pueden sintetizar en: la automatización de los procesos, su independencia de los elementos de fabricación, su escalabilidad, y su integración con el resto de infraestructuras TI y con las políticas de gestión globales de la organización.

La automatización de los procesos es fundamental para alcanzar los objetivos de proactividad y autogestión del sistema. En este sentido, el sistema de regeneración incorpora características de autoconfiguración, planificación y descubrimiento. El servicio también puede actuar bajo demanda, comportándose como una utility computing.

Otro de los aspectos fundamentales del sistema es que sea capaz de proporcionar soporte a diferentes dispositivos de fabricación, con independencia de su funcionalidad y de su plataforma hardware o software. El sistema de regeneración asume muy pocas cosas sobre el hardware de estos componentes (ver figura 1) y ninguna sobre su plataforma software, lo cual facilita enormemente su adaptación a la enorme heterogeneidad existente en este nivel de la industria —sistemas embebidos basados en microcontroladores, servidores de control desarrollados sobre hardware más o menos compatible y sistemas propietarios, dispositivos móviles, controles numéricos, etc.—, mucho más rica que la que podemos encontrar en otros niveles del negocio.

El sistema debe asegurar que podrá crecer y adaptarse a las necesidades cambiantes del entorno, y que podrá hacerlo con la flexibilidad necesaria. La capacidad de autogestión del sistema hace que el impacto provocado por un aumento considerable en el número y variedad de dispositivos a gestionar sea mínimo. Así mismo, la modularidad con la que ha sido concebido permite su crecimiento al mismo ritmo que el de las necesidades y facilita que se pueda realizar de forma progresiva.

La integración de las infraestructuras y tecnologías necesarias para desarrollar el servicio de regeneración está asegurada de forma transparente debido a que dichas infraestructuras son las mismas que las empleadas en el resto de niveles de la organización: protocolos TCP/IP y HTTP, arquitecturas de n-niveles y orientadas a servicios, directorios de usuarios, servidores Web y de Aplicaciones, etc.

Finalmente, esta integración permite caracterizar los procesos involucrados en la gestión de los componentes industriales desde el punto de vista de su aportación al modelo de negocio de la organización. De esta forma se genera una visión que permite incorporarlos dentro del mapa de procesos global y que se puedan aplicar las políticas de gestión establecidas.

4 Elementos que intervienen en el Servicio de Regeneración

El servicio de regeneración ha sido concebido conceptualmente como un sistema multiagente junto con el entorno en el que éstos se desenvuelven. Dicho entorno, a su vez, está compuesto por una serie de elementos, servicios y subsistemas que proporcionan toda la funcionalidad y los recursos que precisan los agentes para desarrollar sus planes y alcanzar sus objetivos. Podemos organizar los elementos en tres grandes niveles (ver figura 2): sistema de información (nivel 1), servicios middleware del sistema (nivel 2) y agentes de servicio (nivel 3). En los siguientes apartados iremos analizando cada uno de ellos con más detalle.

4.1 Nivel 1. Sistema de Información

El sistema de información es el núcleo central del sistema y constituye uno de los pilares fundamentales del servicio de regeneración en particular, y de todos los servicios de gestión, en general. Es el responsable de recoger toda la información relacionada con los servicios que presta —las imágenes software de los elementos de fabricación, las configuraciones de los distintos dispositivos, los planes de mantenimiento, la configuración de los servicios, los agentes del sistema y los registros de actividad—, así como información adicional referente a los diferentes recursos de la organización —usuarios, ubicación de equipos y configuraciones de red—, lo que facilita la automatización de todo tipo de procesos de mantenimiento, además del propio servicio de regeneración.

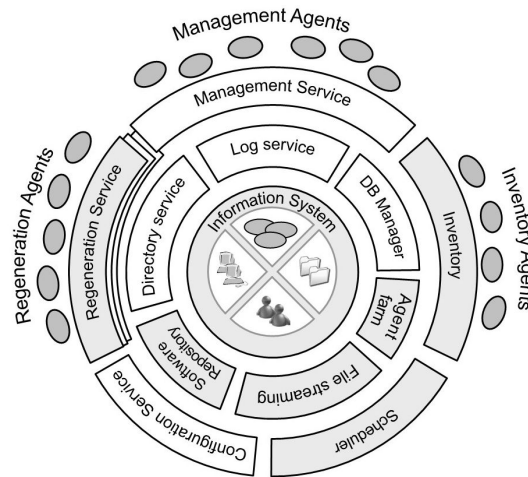


Fig. 2. Elementos del Sistema de Gestión integrado con los servicios TI de la organización.

En su conjunto, el sistema de información del servicio deberá ser el mismo, y 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.

4.2 Nivel 2. Servicios Middleware del Sistema

Los servicios de gestión, y en particular el servicio de regeneración, se despliegan fundamentalmente en los clientes (los componentes de fabricación) que van a recibir dichos servicios. Veremos en el siguiente apartado que los responsables de ejecutar estos procesos son los agentes con los que cuenta el sistema. Sin embargo, para que estos agentes puedan desempeñar sus funciones, es preciso que se apoyen en un conjunto de servicios que les proporcionan los recursos necesario. Estos servicios son los que hemos identificado como el nivel de servicios middleware del sistema.

Este nivel se divide, a su vez, en dos subniveles. El primero de ellos, más cercano al nivel del sistema de información, proporciona los servicios fundamentales relacionados con la plataforma tecnológica. Entre ellos se incluye el gestor de la base de datos relacional; el gestor del servicio de Log, encargado de llevar un registro de las diferentes incidencias ocurridas; el gestor de licencias, el repositorio de paquetes software y el gestor de transferencia masiva de archivos a través de la red con soporte para técnicas de transmisión eficiente como multicast, caché de archivos, compresión en tiempo real, etc. En este subnivel también se incluyen servicios más concretos, como el gestor de la granja de agentes, o servicios estandarizados y altamente difundidos en la actualidad y que completan el servicio de regeneración: un protocolo para el inicio remoto de equipos, por ejemplo PXE, que permite transferir por red el agente de regeneración; protocolos de autoconfiguración de red, como BOOTP o DHCP, que permiten configurar los parámetros de red para la transferencia y posterior uso de la red del agente; protocolos de transferencia para obtener el agente

de regeneración, como TFTP; un protocolo de encendido de equipos, como WoL, que permite iniciar un equipo que se encuentra apagado mediante envío de tramas por la red; protocolo de sincronización de tiempo, como NTP, para el establecimiento de un reloj global a todo el sistema; y un servicio de directorios, como LDAP, para realizar labores de autenticación en el acceso al sistema.

El segundo subnivel de servicios proporciona sistemas completamente funcionales con los que interactúan y colaboran los agentes de servicio. Se trata del planificador, responsable de gestionar la automatización de las tareas; el servicio de inventario que se encarga de que en todo momento la información sobre configuraciones hardware y software esté adecuadamente actualizada; el servicio de configuración, que permite a los elementos de fabricación obtener los parámetros necesarios para iniciar, obtener el agente de regeneración y comenzar las tareas de mantenimiento; el servicio de gestión, que proporciona el punto de entrada al personal técnico para administrar todos estos servicios e infraestructuras.

En este segundo subnivel se encuentra también el servicio de regeneración, que es el principal elemento del servicio, y donde reside la lógica de negocio que recoge el proceso de recuperación de los equipos. Actúa como controlador del servicio, recibiendo las peticiones de los diferentes agentes de regeneración y administradores, desencadenando y coordinando, con el resto de subsistemas, las acciones pertinentes para que el servicio se lleve a cabo. También es el responsable de realizar las labores de validación, gestión de perfiles, seguridad y presentación de la información. En cualquier caso, el servicio de regeneración es sólo un caso concreto que puede servir como ejemplo de los diferentes servicios que puede ofrecer el sistema, tanto en los niveles de fabricación como en el resto de la organización.

4.3 Nivel 3. Agentes de Servicio

Los agentes del servicio constituyen el elemento más importante del sistema. Son los únicos capacitados para interactuar con los equipos de fabricación y concentran la mayor parte de la proactividad, autonomía e independencia que posee el servicio.

Nuestra propuesta distingue tres tipos de agentes: los *agentes de inventario*, los *agentes de gestión* y los *agentes de regeneración*. Todos ellos son agentes software móviles con capacidad para interactuar con su entorno, con los elementos de fabricación y con los servicios y recursos que les proporciona la plataforma middleware.

Los *agentes de inventario* recorren los equipos de fabricación que van a recibir el servicio, elaboran un detallado informe sobre su configuración y composición hardware y software, y comunican esta información al servicio del inventario que es el encargado final de almacenarlo en el sistema de información. Aunque esta información es fundamental para el servicio de regeneración, no es exclusiva del mismo; de hecho, gran parte de las tareas de gestión de los recursos de la organización, tanto automatizadas como manuales, se nutre de esta información.

Los *agentes de gestión* facilitan las labores de gestión del propio sistema a los administradores humanos, bien realizando determinadas tareas repetitivas, recopilando información para su trabajo, monitorizando el sistema, generando

alarmas y mensajes o, sencillamente, proporcionándoles una interfaz adecuada en cada momento y lugar para que puedan desarrollar su trabajo. Estos agentes son los principales responsables de las capacidades de autogestión y automatización del sistema.

Los *agentes de regeneración* representan la piedra angular del servicio de regeneración. Son los responsables de trasladarse al equipo que van a gestionar, tomar el control completo de su hardware y desarrollar sobre el mismo las tareas que le han sido encomendadas: almacenar en un repositorio centralizado (dentro del sistema de información) todo o parte del software y los datos del equipo, restaurar todo o parte del software y datos de un equipo a partir de un repositorio software, configurarlo o reconfigurarlo, realizar pruebas de funcionamiento y, en general, asegurarse que el equipo se encuentre perfectamente operativo en todo momento.

Fisicamente, los *agentes de regeneración* deben mantener un equilibrio entre tamaño y complejidad. Deben ser lo suficientemente ligeros como para no representar un problema para su trasiego por la red de comunicaciones, lo suficientemente flexibles como para ser capaces de tomar el control de plataformas heterogéneas, y lo suficientemente inteligentes como para ser autónomos y conseguir todos los recursos necesarios para desarrollar sus tareas.

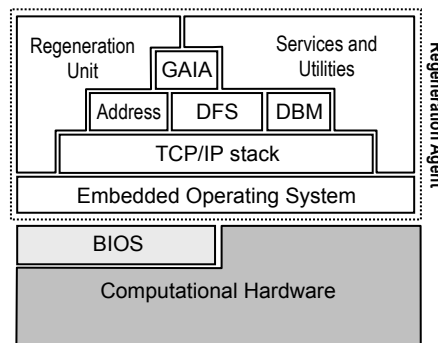


Fig. 3. Arquitectura software de un Agente de Regeneración ubicado sobre un elemento de fabricación.

En la figura 3 se puede ver cual es la arquitectura software de un agente de regeneración. El nivel más bajo corresponde a un sistema operativo embebido adecuado para cada tipo de plataforma hardware. Sobre esta capa se encuentra la capa de comunicaciones basada en los estándares de Internet. A continuación se sitúan los elementos que le permiten al agente acceder a los servicios proporcionados por la plataforma de nivel 2: direccionamiento (como DHCP) para obtener la configuración para el mantenimiento, sistema de archivos distribuido (como NFS, FTP, file streaming) para transferir el software y las configuraciones, el gestor de bases de datos (como MySQL, XML) para acceder a su planificación y a información diversa para la regeneración. Sobre la capa de servicios encontramos, como el corazón del agente, el núcleo embebido de Gaia [15]. Básicamente se trata de una librería con las funciones de gestión y regeneración que se oferta a los niveles superiores en forma de llamadas al sistema. Finalmente, en la última capa se ubica el nivel de aplicación,

donde podemos distinguir las utilidades y servicios auxiliares que precisa el agente y la unidad de regeneración, responsable final de interactuar con el sistema y gestionar toda la actividad de regeneración. Este módulo determina el comportamiento del agente de regeneración y lo diferencia del resto de agentes.

5 Organización física de los elementos del sistema

Todo el sistema de regeneración está basado en una plataforma tecnológica que presta servicios a los agentes de servicio. Cada uno de estos servicios está concebido mediante una arquitectura basada en servicios (SOA), buscando, sobre todo, que sean independientes entre sí. Esta independencia permite que a cada servicio se le puedan asignar los recursos tecnológicos que requiera y que no dependan de su ubicación. Según esto, el sistema puede organizarse de muy diferentes formas: desde un modelo totalmente centralizado (ver figura 4), hasta uno totalmente distribuido (ver figura 5), pasando por diferentes configuraciones mixtas.

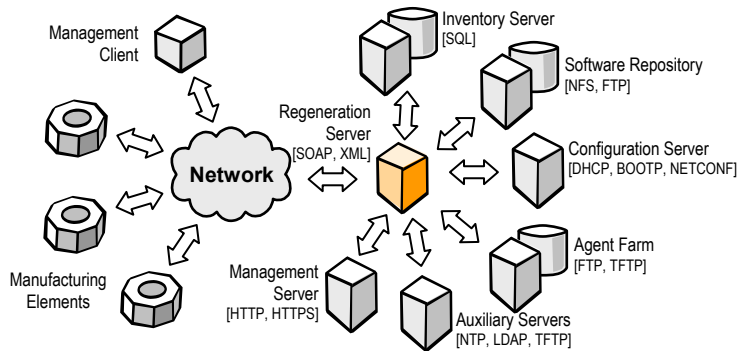


Fig. 4. Organización centralizada.

En el caso de una *organización totalmente centralizada* (figura 4), los elementos de fabricación se consideran externos al sistema, interconectados a través de una red de carácter general, como podría ser Internet o la intranet corporativa. Estos elementos pueden acceder al sistema sólo a través del servidor de regeneración. El servidor de regeneración se encarga de organizar el resto del sistema en función de las solicitudes que recibe. Los elementos de *backend* se organizan alrededor de una red de carácter local, más o menos compleja, especializada en albergar los servidores.

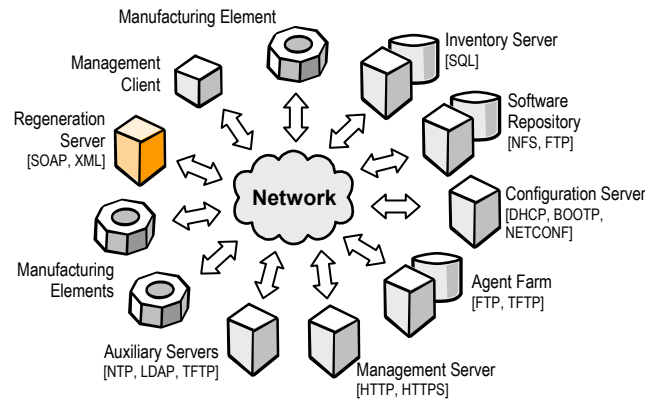


Fig. 5. Organización distribuida.

En este modelo de organización, los puntos de acceso a la administración del sistema también son considerados como externos (por ejemplo, desde un navegador Web con conexión a Internet o a la intranet), puesto que su cometido se reduce al envío de solicitudes de gestión que el propio sistema atenderá.

La principal ventaja de este modelo es que proporciona una configuración que facilita la gestión del sistema, de los elementos físicos que lo componen pero, sobre todo, facilita el acceso seguro a sus recursos. Por el contrario, este modelo limita notablemente la capacidad de adaptación del servicio y la posibilidad de aprovechamiento de los recursos TI en entornos altamente distribuidos.

En el otro extremo encontramos una *configuración totalmente distribuida* (figura 5). En este caso, cada servicio puede desplegarse independientemente sobre sus recursos tecnológicos y en él, tanto los equipos de fabricación como los elementos de gestión y los del sistema se encuentran al mismo nivel. Ahora, los aspectos de seguridad deben trasladarse a cada elemento, lo que dificulta su gestión. A cambio, el aprovechamiento de los recursos y la flexibilidad para adaptarse a las necesidades se incrementa notablemente, aportando un nivel de escalabilidad de grano mucho más fino que en el caso anterior –si la capacidad del sistema resulta insuficiente, se pueden identificar fácilmente los elementos afectados para reemplazarlos o replicarlos, según convenga, sin que el resto de elementos se vean afectados o, en el peor de los casos, con un impacto mínimo sobre su funcionamiento.

Quizá, una de las características más interesantes de la propuesta es que, como se ha comentado anteriormente, se puede aplicar un modelo mixto en el que coexistan elementos centralizados y distribuidos al mismo tiempo. Es más, gracias a la utilización de protocolos normalizados y tecnologías abiertas, cada uno de estos elementos que forman el sistema, pueden aprovechar infraestructuras y servicios ya existentes en la organización (como DHCP, LDAP, MySQL, sistemas de inventario, etc.).

En cualquier caso, será el detallado análisis de cada escenario el que permita determinar qué configuración es la más adecuada. Aspectos como la ubicación de los recursos TI de la organización y de los elementos de fabricación, el tamaño de la organización, su política TI global, el presupuesto, el ancho de banda de la red o la

preparación de su personal técnico, nos pueden dar una ligera idea de los diferentes parámetros y requerimientos que intervendrán en dicho estudio. El objetivo final es alcanzar un equilibrio entre los costes, la complejidad, la eficacia y eficiencia del sistema. Si además tenemos en cuenta que este equilibrio puede variar con el tiempo, el enfoque propuesto se revela aun más interesante.

6 Modelo de Regeneración

El servicio de regeneración se basa en un modelo de servicios gestionado por un agente software móvil. El servicio puede ofrecerse *bajo demanda*, a petición del propio elemento de fabricación que requiere las tareas de mantenimiento, o bien *mediante planificación*, es decir, el servicio decide realizar determinadas tareas de manteniendo sobre determinado componente de fabricación.

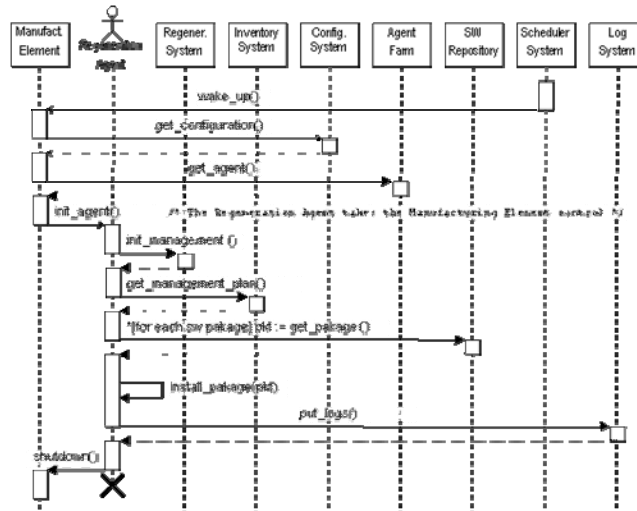


Fig. 6. Diagrama de secuencia de un plan de regeneración planificado.

Con independencia de la naturaleza desencadenante del proceso, el protocolo es básicamente el mismo (ver figura 6). En el primer caso, el elemento de fabricación, una vez iniciado su proceso de *boot*, analiza su estado y, si detecta la necesidad de realizar un mantenimiento, realiza la solicitud al sistema de regeneración. En el caso de la planificación, es el propio sistema el que se ocupa de iniciar el proceso de *boot* del elemento de fabricación. A partir de este instante, en ambos casos, el sistema de regeneración envía un *agente de regeneración* adecuado para el elemento de fabricación.

El agente de regeneración toma inmediatamente el control del hardware computacional del elemento de fabricación, realizando algunas tareas de verificación y configuración muy básicas y solicitando al sistema de regeneración central su *plan de trabajo*, que pasará a desarrollar inmediatamente sobre el equipo.

Un plan de regeneración puede incluir tareas tan sencillas como: actualizar determinadas aplicaciones o, incluso, archivos individuales; recabar información de configuración y estado del elemento para el inventario central; configurar elementos hardware o software; o realizar una regeneración completa del elemento de fabricación, lo que pasa por solicitar configuraciones y software al repositorio software directamente (con el modelo de organización distribuida) o a través del servidor de regeneración (en el caso del modelo centralizado).

La figura 6 muestra un diagrama de secuencia en el que se sintetiza los elementos fundamentales que intervienen en el servicio junto con las principales tareas de un plan de regeneración.

7 Caso de estudio

Para validar el modelo propuesto se ha realizado un implementación del mismo utilizando como base la plataforma J2EE. En la figura 7 se muestra el escenario de prueba con los diferentes elementos que lo componen y en la tabla 1 se recoge la configuración software de los diversos equipos servidores que se han utilizado.

En la elección de las plataformas y servicios se ha seleccionado proyectos de software libre maduros y con el respaldo de una amplia comunidad científico-técnica. Como sistema operativo para los servidores se ha utilizado Debian 3.1 (Sarge), una distribución de GNU/Linux.

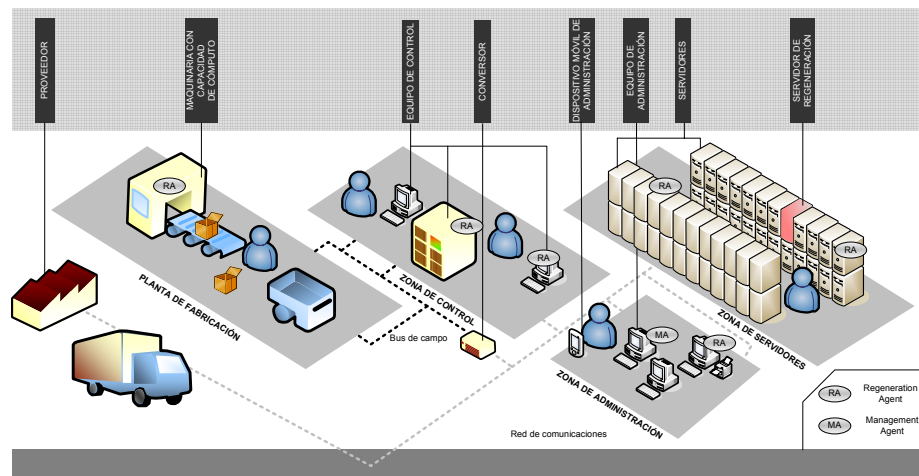


Fig. 7. Escenario de pruebas.

Tabla 1. Software empleado para desplegar el servicio.

Elemento del sistema	Servidor	Aplicaciones / Servicios
Management Service	Servidor Web	Apache (v. 2.0.55); Tomcat (v. 5.5.15)

Regeneration Service; Scheduler	Servidor de Aplicaciones	JBoss (v. 4.0.4)
Inventory; Log Service; DB Manager	Servidor de inventario	MySQL (v. 5.0)
Information System; File Streaming; Software Repository; Agent Farm	Servidor de Almacenamiento	NFS (v. 4); OpenSSH (SFTP) (v. 4.2) SAMBA (v. 3.0.20)
Configuration Service; Directory Service	Servidores Auxiliares	OpenLDAP (v. 2.3.20); NTP (v. 4.2.0); TFTP (v. 0.1.7); DHCPD (v. 3.0.2)

Para el desarrollo de los agentes de regeneración también se ha utilizado un núcleo Linux embebido ya que aporta muchas de las características requeridas por el sistema: soporte para múltiples arquitecturas hardware, sistemas de archivos, tipos de red, escalabilidad, seguridad, funcionamiento *diskless* y alto nivel de integración. Además, al ser una plataforma *opensource*, permite adaptar el código a las necesidades propias del agente.

8 Conclusiones

En este artículo se ha presentado y analizado un servicio de regeneración para los elementos de fabricación que contienen sistemas computacionales embebidos. Este servicio proporciona alta disponibilidad en el nivel de planta aplicando una tecnología ampliamente validada en otros niveles de la organización. El servicio es capaz de absorber la enorme heterogeneidad existente en este entorno y se integra sin ningún problema con los elementos TI existentes.

El servicio está basado en un sistema de regeneración de nodos desarrollado en la Universidad de Alicante y que ha sido validado en multitud de escenarios a través de proyectos de colaboración nacionales e internacionales. Los análisis realizados permiten asegurar que con el servicio de regeneración se disminuyen drásticamente los tiempos de recuperación después de imprevistos y averías producidos en las plataformas y aplicaciones instaladas, aportando características de alta disponibilidad y recuperación en frío. También se obtiene una importante disminución en el riesgo antes del desastre, actuando dentro de valores de tiempos comprendidos entre la replicación asíncrona y la copia de seguridad.

La propuesta es escalable y puede desplegarse progresivamente a medida que lo requiera la organización, se integra con las políticas de gestión globales de la empresa y está basada en tecnologías y protocolos estándares que evitan la dependencia de soluciones propietarias. También minimiza el impacto en el entorno en el que se implanta ya que no requiere la instalación de software adicional en los equipos de fabricación y opera sobre entornos heterogéneos.

El hecho de utilizar un sistema basado en un sistema multiagente, compuesto por agentes software móviles, aporta características interesantes a la propuesta, resolviendo diversos aspectos, como la adecuación del agente a cada plataforma o su

actualización. Además, el enfoque también aporta la autonomía y proactividad deseadas en el servicio.

En la actualidad estamos centrados en desarrollar un modelo colaborativo que mejore las características de difusión masiva de información a través de redes de área amplia que aseguren su funcionamiento a través de Internet y que permita establecer tiempos suficientemente acotados en este entorno.

Referencias

1. Moreno RP (2004) Ingeniería de la automatización industrial. Ra-Ma, Madrid
2. Chang H (2002) A Model of Computerization of Manufacturing Systems: an International Study. *Information and Management* 39 7:605-624
3. Jammes F, Smit H (2005) Service-Oriented Paradigms in Industrial Automation. *IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL INFORMATICS* 1 1: 62-70
4. Black U (1994) Network Management Standards: SNMP, CMIP, TMN, MIBs and Object Libraries, 2nd edition. McGraw-Hill
5. Kim M, Choi M, Hong JW (2002) A load cluster management system using SNMP and web. *International Journal of Network Management* 12 6: 367-378
6. Saïdi H, Dutertre B, Lew J, Valdes A (2003) Self-regenerative software components. In *Proceedings of the 2003 ACM workshop on Survivable and self-regenerative systems*, pp 115-120
7. López de Vergara JE, Villagrà VA, Berrocal J (2002) Semantic Management: advantages of using an ontology-based management information meta-model. In *Proceedings of the HP Openview University Association Ninth Plenary Workshop (HP-OVUA'2002)*
8. Konstantinou V, Yemini, Florissi D (2002) Towards Self-Configuring Networks. In *DARPA Active Networks Conference and Exposition (DANCE'02)*, pp 143-145
9. Du TC, Li EY, Chang AP (2003) Mobile Agents in Distributed Network Management. In *Communications of the ACM* 46 7: 127-132
10. 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
11. Brown A, Patterson DA (2001) Embracing Failure: A Case for Recovery-Oriented Computing (ROC). In *High Performance Transaction Processing Symposium*. Asilomar, CA
12. Ivinskis K (1995) 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.
13. Cuff JA, Coates GMP, Cutts TJR, Rae M (2004) The Ensembl Computing Architecture. In *Genome Research*, Cold Spring Harbor Laboratory Press 14: 971-975
14. Macià-Pérez F (2001) Modelos de Administración de Redes Heterogéneas de Computadores. Sistema de Regeneración de Nodos de Red. Doctoral thesis. Departamento de Tecnología Informática y Computación. Universidad de Alicante.
15. Macià-Pérez, F, García-Chamizo JM, Mora-Gimeno FJ, Marcos-Jorquera D, Gilart-Iglesias V, Gil-Martínez-Abarca JA, Monllor-Pérez JC (eds) (2005) Desarrollo de Grandes Aplicaciones Distribuidas sobre Internet (JDARE 2004). Publicaciones Universidad de Alicante, Alicante.