

Automatización de Sistemas e Integración de Software en Empresas de Producción

Jonás A. Montilva C.¹

Edgar Chacón R.²

Carlos Arévalo³

Guido Urdaneta³

^{1,2}Universidad de Los Andes
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería de Sistemas
Departamento de Computación

¹ Grupo GIDyC

² Laboratorio LASDAI

Mérida, Venezuela

+58-274-2403811

jonas@ing.ula.ve, echacon@ing.ula.ve

³Universidad del Zulia
Facultad de Ingeniería
Instituto de Cálculo Aplicado
Maracaibo, Venezuela

carevalo@ica.luz.ve, guidox@ica.luz.ve

Resumen-- A comienzos de 1997, se organizó un grupo de trabajo interdisciplinario, conformado por investigadores de la Escuela de Ingeniería de Sistemas de la Universidad de Los Andes y del Instituto de Cálculo de la Universidad del Zulia, con el objetivo de estudiar y buscar soluciones a los problemas de integración de tecnologías de software heterógeno empleadas en el contexto empresarial. Este artículo describe un modelo conceptual que explica, en términos de niveles, las modalidades de integración de tecnologías de información y comunicación que se puede dar en una empresa de producción. Utilizando este modelo, se analizan diversos enfoques de integración de software empresarial, entre los que se destacan la Automatización Integral, la Planificación Estratégica de Sistemas de Información, la Integración e Ingeniería Empresarial, la Integración de Aplicaciones Empresariales y las Arquitecturas de Objetos Distribuidos. Se hace una comparación entre esos enfoques con el fin de establecer las diferencias y las ventajas de dichos enfoques. La principal contribución del modelo descrito es su habilidad para explicar y relacionar los modos de integración de software empresarial. Adicionalmente, se describe un enfoque de integración desarrollado por el grupo para lograr la automatización e integración de procesos en empresas de producción.

Palabras claves-- Sistemas de Información Empresarial, Modelado Empresarial, Automatización Industrial, Integración de Software.

I. INTRODUCCIÓN

La integración de la diversidad de tecnologías de información y comunicación que posee, normalmente, una empresa de producción se ha convertido en una necesidad ineludible e impostergable. Esta necesidad tiene su origen en dos problemas que han sido tratados tradicionalmente, en la literatura, como problemas separados.

El primero de ellos está relacionado con la integración de software heterogéneo y se origina en la gran diversidad de productos de *software* que las empresas emplean para apoyar sus diferentes procesos productivos. Muchos de estos productos provienen, por lo general, de diferentes proveedores. Otros están basados en plataformas de *hardware* y *software* diferentes o emplean modelos conceptuales incompatibles y no tienen, por consiguiente, la capacidad requerida para integrarse e interoperar. Entre los enfoques recientes que han emergido para resolver el problema de integración de software se destacan la Integración de Aplicaciones Empresariales (Linthicum, 2000; Zahavi, 2000) y las arquitecturas de objetos distribuidos, tales como CORBA, Enterprise JavaBeans y COM (Chauvet, 1997; Siegel, 2000, Monson, 2000).

El segundo problema está relacionado con la ausencia de integración entre el proceso físico, su control y el proceso gerencial de una empresa, en términos de las decisiones y la información que debe fluir entre ellos tres. Este es un problema ampliamente reconocido en la industria y ha dado origen al modelado e integración empresarial, en el cual se enmarcan soluciones tales como CIMOSA, PERA y GRAI-GIM (Lim, et al., 1997; Bernus, et al., 1996).

Aunque estos dos problemas tienen características diferentes, originadas en buena medida por la naturaleza de las disciplinas en las que ellos se ubican, la relación entre ambos es muy estrecha, a un punto tal que es prácticamente imposible buscar soluciones a la integración empresarial sin tocar el problema de la integración de software. En esta dirección, se desarrolla actualmente, bajo el marco del Proyecto CONICIT G-97000824, un enfoque denominado *Automatización e Integración Empresarial* que busca establecer una mayor relación entre el modelado e integración empresarial y la integración de software (Centauro, 2001).

En este artículo, se hace un análisis de los diferentes enfoques existentes para la automatización e integración de software heterogéneo en el contexto de las empresas de producción. Para abordar la complejidad de ambos problemas y el análisis de sus soluciones, se elaboró un modelo conceptual de integración, el cual es utilizado como base para establecer la comparación entre los diferentes enfoques que aquí se discuten. Los resultados de esta comparación, corroboran la necesidad de establecer una mayor relación entre la integración de software y la integración empresarial, y ratifican la necesidad de interrelacionar los enfoques existentes a fin de alcanzar un mayor grado de integración en las empresas de producción.

En la sección II se presenta el modelo conceptual de integración que explica los diferentes niveles de integración que se dan en una empresa. Las secciones III y IV discuten dos de los enfoques más conocidos utilizados tanto en la integración empresarial como en la integración de software. La sección V presenta el enfoque de Automatización e Integración Empresarial desarrollado en la Universidad de Los Andes. La última sección, sección VI, establece la comparación entre estos enfoques sobre la base del modelo conceptual de integración propuesto.

II. UN MODELO CONCEPTUAL PARA LA INTEGRACIÓN EMPRESARIAL

Para apoyar sus diferentes procesos de negocios, la mayoría de las empresas poseen un conjunto muy variado de sistemas de información y control. Por lo general, estos sistemas han sido desarrollados en momentos diferentes y usando tecnologías de software disímiles y, en muchos casos, incompatibles. Por otro lado, es común que estos sistemas operen en equipos de computación de diferentes marcas o tecnologías y corran bajo sistemas operativos diferentes.

Este problema ha sido tratado de diferentes maneras por los especialistas del área. La primera modalidad de integración que emergió se concentró en la integración de los equipos de computación a través de redes tanto locales como de amplio alcance. Este tipo de integración facilitó la transmisión de datos entre equipos y sistemas operativos heterogéneos conectados en red y dio origen, también, a nuevas formas de concepción de sistemas de información basadas en la distribución de los datos.

La integración de sistemas de información heterogéneos (esto es, aquellos fundamentados en equipos y tecnologías de software heterogéneas) es, sin embargo, un problema que va más allá de la conexión física de los equipos en los que tales sistemas se apoyan. Para la solución de este problema han surgido, en la última década, propuestas que van desde la integración de estos sistemas a través de una interfaz gráfica común, hasta llegar a la integración de los procesos de negocios inter-empresa o intra-empresas basados en las nuevas tecnologías de información y comunicaciones.

La mayoría de estas soluciones son complementarias y descansan en la primera de ellas, es decir en la interconexión de equipos en redes. Basado en las relaciones que estas soluciones presentan, se propone en la figura 1 un modelo conceptual que aborda la integración de los sistemas de información, control y decisión de una empresa a través de una serie de capas o niveles escalables. Estos niveles permiten avanzar gradualmente en la integración de sistemas heterogéneos desde un nivel netamente físico de integración de equipos y sistemas operativos (nivel 1) hasta llegar a la automatización e integración de procesos de información, control y decisión, la cual se da en los niveles 5 y 6.

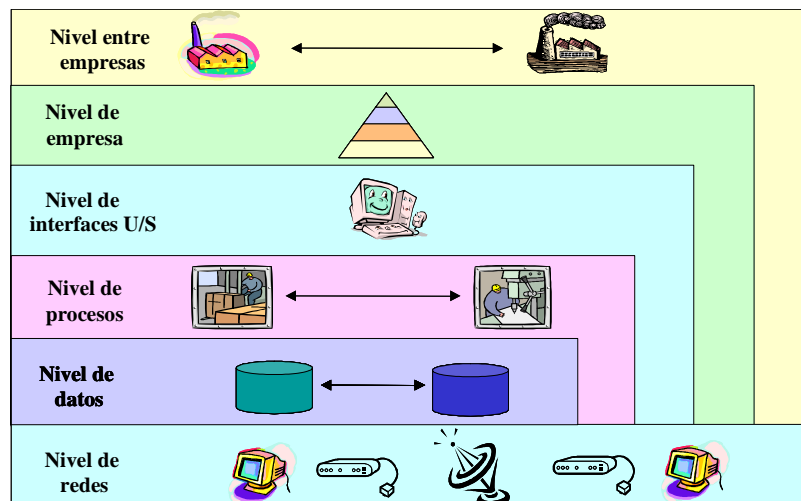


Figura 1. Niveles de automatización e integración de software heterogéneo

A. Nivel 1: Integración basada en redes

Este nivel constituye la plataforma tecnológica sobre la cual se fundamentan los otros niveles de integración. La integración se da aquí a través de la interconexión física y lógica de los equipos de computación de la empresa usando redes de área local y su conexión a redes de amplio alcance, particularmente Internet. Dentro de una empresa de producción, y en función de las diferentes plataformas en ella presentes, es común encontrar redes que soportan los procesos en tiempo real; redes que permiten la supervisión de los procesos de producción (p.ej., manufactura, robots, control regulatorio); la concentración de la información mediante los sistemas de supervisión (SCADA's) y redes para apoyar los ambientes o sistemas de información gerencial para la planificación de producción, gestión, comercialización, etc. En una empresa de producción deben existir los dispositivos que interconecten estos tipos de redes, lo cual se hace, por lo general, mediante pasarelas (*gateways*).

B. Nivel 2: Integración de datos

La integración en este nivel se realiza mediante la transferencia de datos entre dos o más archivos y/o bases de datos heterogéneas. La integración de datos entre dos aplicaciones involucra la transformación de los datos de una de ellas al formato usado por la otra, sin que sea necesario modificar el código de las aplicaciones. Este tipo de integración se puede realizar de dos modalidades diferentes: de base de datos a base de datos o mediante el uso de bases de datos federadas (Linthicum, 2000). Para la integración de base de

datos a base de datos, se emplean mecanismos tales como la replicación de datos, conectores ODBC o corredores de mensajes (*message brokers*). En la segunda modalidad, las bases de datos heterogéneas se integran a través de un modelo de datos virtual único, el cual establece las correspondencias (*mappings*) con las bases de datos integradas. La evolución en los mecanismos de integración de bases de datos heterogéneas ha facilitado la integración entre sistemas de información ubicados en diferentes niveles de la jerarquía gerencial de una empresa.

C. Nivel 3: Integración de procesos

En este nivel, dos o más aplicaciones pueden compartir su lógica de negocios (procesos) y sus datos. Los procesos emplean las redes para interconectarse, y pueden acudir a modelos de datos comunes para transferirse la información de manera segura. Esta manera de integrar aplicaciones heterogéneas se da directamente a través de sus procesos, los cuales interoperan mediante interfaces de programación (APIs) o mediante el pase de mensajes remotos entre objetos. La integración mediante interfaces de programación requiere que cada aplicación disponga de un conjunto de APIs, a través de los cuales otras aplicaciones pueden acceder a los procesos y datos que ella está dispuesta a compartir o hacer visible. La integración mediante pases de mensajes remotos emplea varios mecanismos tales como objetos distribuidos, servidores de aplicación, monitores de procesamiento de transacciones y marcos. Las arquitecturas de objetos distribuidos CORBA, Enterprise JavaBeans (EJB) y COM se utilizan normalmente para implementar la integración a nivel de procesos.

D. Nivel 4: Integración usando interfaces gráficas usuario-sistema (GUI)

Resuelto el problema de la interacción entre los diferentes equipos, la información existente en una aplicación puede ser necesaria para un operador humano, que la debe recuperar independientemente del sistema que la mantenga. Para dos aplicaciones o sistemas heterogéneos, S1 y S2, es posible lograr su integración a un nivel simplemente visual a través del uso de interfaces gráficas (GUIs) basadas en la tecnología web. En este caso, una interfaz web es utilizada para visualizar información y/o introducir conjuntamente datos en S1 y/o S2, manteniendo la independencia y separación de cada aplicación. Por ejemplo, un planificador podría, a través de una misma interfaz, ver simultáneamente la existencia de un producto x en un sistema de inventario y el valor del mismo en un sistema de mercadeo. Esta manera de integrar aplicaciones es muy común en sistemas de información web que acceden a diferentes bases de datos con la intención de visualizar su contenido en una misma interfaz (Chacón, 1999). Linthicum (2000) discute un método de integración por interfaz, denominado *screen scrapping*, el cual es aún más simplista que el anterior. En este método, una aplicación S1 se integra a otra aplicación S2 a través de la localización, lectura y transformación de los datos requeridos por S1 que están contenidos en la interfaz GUI de S2.

E. Nivel 5: Integración empresarial

Persigue la integración de los procesos de decisión, control y manejo de información de la empresa, a través de un enfoque integral de planificación estratégica fundamentada en el modelado de la empresa y de sus sistemas de información, decisión y control. En este nivel, las diferentes aplicaciones o sistemas que satisfacen un área de negocios, se intercomunican haciendo uso de la integración de procesos, a partir de modelos del negocio, donde se define de manera clara la separación entre las diferentes funciones, la responsabilidad de la información y una visión común de la empresa.

F. Nivel 6: Integración entre empresas

Permite que los procesos de negocios de una empresa se comuniquen o intercambien información con los procesos de negocios de otra, a través de nuevas tecnologías tales como el B2B (Business-to-Business). Modelos comunes del negocio, permiten interactuar a dos empresas para satisfacer actividades del negocio. La integración se basa en desarrollo de modelos de intercambio de

información y representación común de la información. El metalenguaje XML aparece como una herramienta estandarizada para la transferencia de información auto-contenida y la descripción de los procesos.

Estos cinco niveles, que describen diferentes formas de llevar a cabo la integración de sistemas en una empresa, serán utilizados en la última sección para establecer la comparación de los principales enfoques de integración de sistemas y software existentes en la literatura.

III. ENFOQUES DE INTEGRACIÓN DE SOFTWARE HETEROGÉNEO

Varios enfoques han sido propuestos en la literatura con el fin de satisfacer las necesidades de integración de sistemas y/o software presentes en la mayoría de empresas. Estos enfoques se describen muy brevemente a continuación.

A. Integración mediante bases de datos

Este esquema de integración se basa en que múltiples aplicaciones accedan a bases de datos comunes. Las aplicaciones intercambian datos accediendo a la base de datos común.

Este enfoque es viable debido a la existencia de un lenguaje estándar universal para el acceso a base de datos (SQL, Structured Query Language).

Las estrategias más utilizadas basadas en este enfoque son:

- Creación de una base de datos con información de otras bases de datos. Esto facilita el acceso a los datos de múltiples aplicaciones.
- Utilización de procesos que alimentan la base de datos de una aplicación con información de otras bases de datos. Esto permite que una aplicación acceda a información de otras aplicaciones sin necesidad de ser modificada.
- Utilización de una base de datos común diseñada específicamente para ser accedida por múltiples aplicaciones.

B. Middleware Orientado a Mensajes

El middleware orientado a mensajes (MOM, *Message Oriented Middleware*) (SEI, 2003) es un tipo de middleware que soporta el intercambio de mensajes en un ambiente de aplicaciones distribuidas. Los datos son intercambiados utilizando mecanismos de paso de mensaje y/o colas de mensaje que soportan interacciones síncronas y asíncronas entre procesos distribuidos, aunque se les suele identificar principalmente con la mensajería asíncrona. Típicamente, los mensajes son enviados a una cola y permanecen ahí hasta que son solicitados

por la aplicación a quien va dirigido. Una ventaja de este esquema es que si la aplicación servidora no está disponible cuando el mensaje es enviado, éste puede ser procesado posteriormente. Otra ventaja es que el nivel de acoplamiento entre las aplicaciones es menor al que existe cuando se utilizan sistemas basados en llamadas a procedimientos. Adicionalmente, los MOM pueden mejorar la recepción de los mensajes utilizando esquemas de balance de carga y prioridades. Los MOM pueden mejorar su confiabilidad utilizando colas persistentes que permiten que los mensajes sean recuperados en caso de fallas del sistema.

Existen productos que permiten integrar diversas aplicaciones tales como manejadores de bases de datos, sistemas ERP mediante adaptadores que permiten que estas aplicaciones se incorporen al sistema de mensajería. Esta clase particular de MOM se conocen con el nombre de Gestores de Mensajes (*Message Brokers*).

C. Objetos Distribuidos

Los sistemas de objetos distribuidos permiten la creación y comunicación de objetos que tienen identidad y estado en diferentes computadoras de una red. Ejemplos de tecnologías de objetos distribuidos son CORBA (OMG, 2001), DCOM (Microsoft, 1999), .Net (Microsoft, 2002) y Java RMI (Sun, 1998). El esquema de comunicación utilizado en esta tecnología es similar a las llamadas a procedimientos remotos, sólo que en lugar de invocarse un procedimiento, se invoca un método de un objeto distribuido. Los objetos distribuidos normalmente son ejecutados en el contexto de un gestor de solicitudes de objetos, el cual es responsable de ayudar a las aplicaciones cliente a localizar fácilmente objetos distribuidos.

Los gestores de solicitudes de objetos, sin embargo, no definen un entorno que controle la ejecución de los objetos distribuidos. Son simplemente elementos de comunicación que permiten la interacción entre objetos. La concurrencia, transacciones, manejo de recursos y tolerancia a fallas en las aplicaciones de objetos distribuidos es responsabilidad del programador. Es posible que el gestor de solicitudes de objetos provea servicios para estas operaciones, pero sigue siendo responsabilidad del programador la incorporación de esta funcionalidad en los objetos de negocios de la aplicación.

D. Monitores de Procesamiento de Transacciones

Los monitores de procesamiento de transacciones (monitores TP) (SEI, 2003) son sistemas que controlan el entorno de las aplicaciones, incluyendo

transacciones, manejo de recursos y tolerancia a fallas. La lógica de negocios en los monitores TP se realiza con aplicaciones procedimentales a las cuales se accede utilizando mecanismos de llamadas a procedimientos remotos. Los monitores TP suelen soportar esquemas de mensajería que permiten a un cliente enviar un mensaje que activa una aplicación. La mensajería puede ser síncrona o asíncrona, lo cual indica que el cliente puede o no esperar una respuesta. La mensajería puede realizarse mediante otro producto (MOM, Message Oriented Middleware).

Los monitores TP son una tecnología muy madura que ha evolucionado durante más de treinta años, lo que ha dado lugar a productos sumamente robustos muy utilizados en sistemas de misión crítica (e.g. IBM CICS, BEA Tuxedo ATMI). Las aplicaciones de un monitor TP son procedimentales y pueden ejecutar tareas complejas pero sin ningún sentido de identidad. Los monitores TP no tienen soporte para el desarrollo de aplicaciones orientadas a objetos y requieren la utilización de interfaces de programación específicas para acceder a diversos servicios, lo cual limita la mantenibilidad y las posibilidades de reutilización de las aplicaciones.

E. Servidores de Aplicaciones basados en Componentes

Los servidores de aplicaciones basados en componentes (SAC) son un híbrido entre los monitores TP procedimentales y los sistemas de objetos distribuidos.

Las características básicas de un SAC son:

- Una infraestructura que permite el manejo de transacciones, eventos y otros servicios.
- Un modelo de componentes para aplicaciones del lado del servidor. Por ejemplo: .Net Managed Components (Microsoft, 2002), CORBA Component Model (OMG, 2001) y Enterprise JavaBeans (Sun, 2001), BEA Tuxedo CORBA (BEA, .
- Un esquema de contenedores que se encarga de proporcionar un entorno de ejecución a los componentes y de utilizar implícitamente los servicios de middleware.
- Herramientas administrativas que permiten configurar el modo de ejecución de los componentes.
- Herramientas que permitan controlar aspectos tales como configuraciones de hardware, políticas de seguridad y tolerancia a fallos, entre otros.

La tendencia global en los proveedores de middleware es ofrecer servidores de aplicaciones basados en este esquema.

F. Servicios Web

Los servicios Web (IBM, 2003) son procedimientos remotos que son accedidos a través de la Web utilizando protocolos basados en XML. Generalmente se utiliza el protocolo SOAP (Simple Object Access Protocol) en combinación con HTTP (Hypertext Transfer Protocol).

Además de SOAP, se utiliza un lenguaje llamado WSDL (Web Services Description Language) para definir las interfaces programáticas de los procedimientos y el protocolo UDDI (Universal Discovery Description and Integration), el cual permite localizar y acceder a los servicios.

En la actualidad se están desarrollando protocolos adicionales para manejar transacciones y aspectos de seguridad.

IV. ENFOQUE DE MODELADO E INTEGRACIÓN EMPRESARIAL

Es un enfoque global e integral que consiste en “la definición, análisis, rediseño e integración de procesos de negocios, procesos de datos y conocimiento, aplicaciones de software y sistemas de información dentro de una empresa con el objetivo de mejorar el rendimiento global de la empresa” (Lim et al, 1997). Este enfoque se centra en la integración empresarial desde una perspectiva global que contempla:

- La integración de los procesos de negocios de la empresa mediante su coordinación, comunicación y cooperación.
- La integración de sistemas a través de redes de computadoras.
- La integración de aplicaciones a través de *middleware*.

Este enfoque de integración está orientado a las empresas de manufactura o producción discreta. Sus modelos y métodos más conocidos son CIMOSA (Kosanke, 1999), PERA (Williams, 1994) y GRAY (Doumeings, 1987).

V. EL ENFOQUE DE AUTOMATIZACIÓN E INTEGRACIÓN EMPRESARIAL

A comienzos de 1997, se organizó un grupo de trabajo interdisciplinario, conformado por investigadores de la Escuela de Ingeniería de Sistemas de la Universidad de Los Andes y del Instituto de Cálculo de la Universidad del Zulia, con el objetivo de estudiar y buscar soluciones a los problemas de integración de tecnologías de software. Con el apoyo financiero del CONICIT, este grupo analizó diversos enfoques de integración

empresarial y de software heterogéneo, entre los que se destacan la Automatización Integral (Chacón, et al., 1996), la Planificación Estratégica de Sistemas de Información (Spewak, 1993), la Integración e Ingeniería Empresarial (Bernus, 1996; Lim, et al., 1997), la Integración de Aplicaciones Empresariales (Linthincum, 2000; Zahavi, 2000) y las Arquitecturas de Objetos Distribuidos (Siegel, 2000; Monson, 2000; Chauvet, 1997).

A través de un proceso de selección e integración de las mejores prácticas, conceptos, procesos y modelos propios de los enfoques citados, se produjo un conjunto de soluciones orientadas a mejorar la efectividad de la aplicación de las tecnologías TIC en el ámbito empresarial. Al enfoque resultante, desarrollado por el grupo de la ULA, se le denominó *Automatización e Integración Empresarial (A&IE)*. Este enfoque ha sido utilizado con éxito en varias empresas públicas y privadas del país, entre las que se incluyen la industria petrolera, empresas de tratamiento y distribución de agua potable e instituciones para la administración de regímenes fiscales especiales.

Este enfoque descansa en tres componentes conceptuales y metodológicos estrechamente relacionados:

- El Modelado Empresarial
- El Modelo Referencial de Automatización e Integración (MRAI)
- El método METAS para la automatización e integración empresarial

A. El Modelado Empresarial

Para definir la infraestructura informática de una empresa es esencial conocer la empresa en todos sus aspectos; incluyendo sus fines, procesos, actores, estructura organizativa, marco legal, etc. Es sólo a partir de este conocimiento que se pueden establecer las necesidades de información de la empresa y su infraestructura informática.

Normalmente, se espera que los gerentes de una empresa poseen un amplio conocimiento de todos estos aspectos. Sin embargo, en la mayoría de empresas, en las que se aplicado el enfoque A&IE, se ha encontrado que no todos los gerentes coinciden en su conocimiento de la empresa y, lo que es peor aún, este conocimiento o no está documentado o, simplemente, no se encuentra lo suficientemente actualizado para servir de base en el diseño de la infraestructura de información que requiere la empresa.

Para resolver este inconveniente, nuestro enfoque utiliza un método de modelado empresarial (o modelado de negocios), el cual describe como

elaborar un modelo organizacional de la empresa, que sea consistente con el estado actual de la misma y comprensible para todos sus miembros. Este proceso de modelado se basa en un *meta-modelo de negocios*, descrito en (Montilva, 1999), el cual captura los conceptos o elementos de una empresa que son fundamentales para construir un modelo organizacional (ver figura 2).

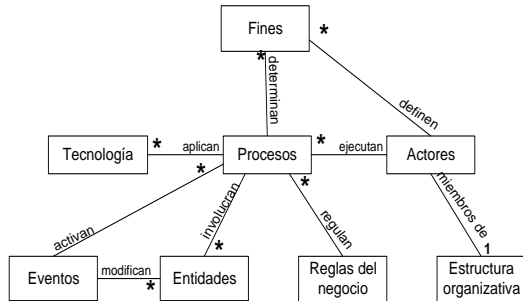


Figura 2. Conceptos fundamentales del modelado empresarial

El método de modelado empresarial indica como definir los fines (visión, misión y objetivos) de la empresa, los procesos de negocios requeridos para alcanzar esos fines, los actores que ejecutan tales procesos y como ellos se agrupan en una estructura organizacional, las reglas que rigen el desarrollo de los procesos, la tecnología empleada para ejecutarlos y las entidades u objetos de negocio que se requieren, consumen, participan o se ven involucradas en la realización de dichos procesos. El lenguaje de modelado unificado, UML – *Unified Modeling Language* (Booch, et al., 1998), es usado en este método para representar los diferentes elementos de la empresa, indicado en el meta-modelo.

B. El Modelo Referencial de Automatización e Integración (MRAI)

La Automatización e Integración Empresarial emplea como marco conceptual una arquitectura genérica denominada *Modelo Referencial de Automatización e Integración (MRAI)*. Este modelo define la forma general que tiene la infraestructura de automatización e informática de una empresa integrada, tal como se ilustra en la figura 3.

La estructura del modelo se basa en una pirámide de varias caras estrechamente relacionadas y fundamentadas en los procesos básicos de la empresa (Chacón, et al., 2002). Cada cara representa el diseño de un componente de la infraestructura, denominado *arquitectura*. El modelo cubre los procesos de transformación (procesos fundamentales del negocio ubicados en la base de la pirámide), la

infraestructura de equipos de transformación (arquitectura de tecnologías de producción), las decisiones u organización de producción (arquitectura de decisión) y los diferentes aspectos asociados al mantenimiento, transformación y procesamiento de la información (arquitecturas de objetos, aplicaciones y tecnologías TIC).

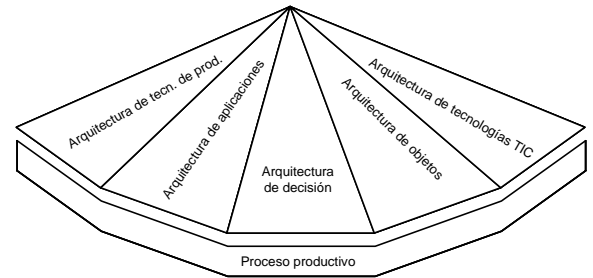


Figura 3. El Modelo Referencial de Automatización e Integración (MRAI)

El modelo MRAI concibe la infraestructura informática como un medio o recurso que está estrechamente ligado y alineado a los procesos de la empresa.

Tal como lo establece el meta-modelo de negocios (figura 2), la empresa puede ser concebida como un conjunto de procesos diseñados para alcanzar fines y objetivos pre-establecidos. Estos procesos se dividen en procesos de producción y procesos de apoyo y gestión.

Los procesos de producción constituyen las operaciones básicas de transformación de insumos en productos y son representados a través de una cadena de valor. Estos procesos utilizan una determinada tecnología o manera particular de hacer las cosas, la cual se modela o representa a través de la *Arquitectura de Tecnologías de Producción*.

Los procesos de apoyo y gestión se refieren a las actividades que contribuyen a la realización del proceso productivo y a aquellas que planifican, dirigen, coordinan y controlan ese proceso. Estos últimos se denominan procesos gerenciales e incluyen las actividades de planificación, organización, dirección, administración de personal y control de la empresa. Una actividad inherente a todos los procesos gerenciales es la toma de decisiones. Los procesos gerenciales son representados en el modelo MRAI a través de la *Arquitectura de Decisión*.

Para ser ejecutados, los procesos de producción, apoyo y gestión requieren información relevante, oportuna, útil, veraz, actualizada y consistente. Esta información es proporcionada por los sistemas de información de la empresa, los cuales emplean bases

de datos para almacenar las propiedades (datos) que tienen todos los objetos que son de interés a la empresa. La *Arquitectura de Aplicaciones* define los sistemas de información que requiere la empresa, sus interrelaciones, así como las relaciones con los procesos gerenciales, de apoyo y producción. La *Arquitectura de Objetos* especifica los objetos de interés a la empresa y establece los datos que deben ser mantenidos en las bases de datos para producir la información requerida por los procesos.

Los sistemas de información y sus bases de datos emplean tecnologías de información y comunicaciones (TIC) conformadas por un conjunto de equipos de computación interconectados en redes y una colección de programas del sistema. Estas tecnologías son necesarias para ejecutar los sistemas de información y mantener sus bases de datos. La tecnología TIC que requiere la empresa es representada mediante la *Arquitectura de Tecnologías TIC*.

C. El Método METAS

El objetivo principal de este método es guiar el proceso de elaboración del plan estratégico de automatización e integración de la empresa, mediante la especificación o diseño de cada una de las arquitecturas contempladas en el modelo MRAI.

Un plan estratégico, que haya sido elaborado siguiendo el método METAS, describe que debe hacer la empresa para implementar estas arquitecturas; así como el tiempo que se deberá emplear y los recursos humanos, económicos, tecnológicos y materiales necesarios para su implementación. La aplicación del método arroja tres productos:

- Un modelo empresarial que describe los aspectos más relevantes de la empresa, a través de la aplicación del meta-modelo de negocios ilustrado en la figura 2.
- Un diseño o arquitectura de automatización e integración que describe la infraestructura informática que deberá tener la empresa en el mediano o largo plazo, en base al modelo MRAI (figura 3).
- Un plan estratégico de automatización e integración que establece el orden cronológico de desarrollo de los sistemas de información, así como de la adquisición e instalación de las tecnologías TIC, tal como fueron establecidas en la arquitectura de automatización e integración. Una estimación del costo y tiempo requeridos para desarrollar la infraestructura es, también, contemplado en el plan.

METAS se describe detalladamente en (Montilva, et al., 2001).

VI. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

En los diferentes enfoques analizados, al igual que en el nuestro, descrito en la sección 5, se encontró que todos ellos tratan de resolver el problema de integración mediante la transferencia de información entre las distintas áreas del negocio, manteniendo la autonomía de cada área, con sus propias aplicaciones y responsabilidad interna de su información.

El nivel 1 es un nivel indispensable en todos los enfoques. Si no existe este nivel, no hay interconexión entre los sistemas, por lo tanto no puede haber integración.

El nivel 2, integración por datos, está presente de manera implícita en los cuatro enfoques analizados. Tanto el enfoque de Integración e Ingeniería Empresarial como el enfoque de Automatización e Integración Empresarial se basan en la existencia de modelos de negocios, usados para la integración de los datos desde el punto de vista semántico.

El nivel 3, integración de procesos, se basa en el uso intensivo de *middleware*, mapas de objetos, datos y transacciones entre los diferentes ambientes, que permiten tener actualizada la información de la empresa. La integración de procesos es un requisito para la integración empresarial; pues se asume que las diferentes funciones de la empresa cooperan entre sí, mediante la interoperación de los procesos que soportan las funciones de la empresa.

El nivel 4, nivel de interfaz, resuelve de manera rápida las necesidades de información, basadas en una presentación uniforme de los datos en aplicaciones de visualización común de los mismos. Esta integración se basa en la experticia de los tomadores de decisión, al poder evaluar las condiciones de la empresa en sus diferentes aspectos.

El nivel 5 es donde ocurren las mayores diferencias entre los diferentes enfoques presentados aquí.

- El enfoque de Integración e Ingeniería empresarial modela la empresa de una manera vertical, asociando los diferentes niveles mediante la abstracción de los procesos de más bajo nivel que incluyen la solución completa de cada unidad y la interacción entre unidades para resolver los problemas de coordinación son usados en un nivel superior. Está orientado a los problemas de empresas de manufactura principalmente. Sus modelos parten de entender el sistema productivo clásico y como integrar dichos sistemas productivos.

- Nuestro enfoque, denominado Automatización e Integración Empresarial, al igual que el enfoque anterior, utiliza el concepto de autonomía funcional (solución completa en cada unidad). Emplea varios modelos que permiten ver diferentes facetas de la empresa y su integración. Un modelo de integración basado en objetos representa las abstracciones de las unidades de producción. Un modelo de la empresa, denominado modelo de tres ejes (Chacón, et al. 2002), permite separar las funciones de soporte de las funciones de producción propiamente dichas, lo cual facilita el modelado de los flujos de información y conocimientos necesarios entre los diferentes ambientes. El modelo MRAI, usado en este enfoque, está más orientado a los sistemas de producción continua.

Todos los enfoques discutidos proponen metodologías que facilitan su implantación. El modelo más antiguo y que ha ido adaptándose a las diferentes tecnologías que han aparecido en el mercado es el modelo CIMOSA, el cual guarda un concepto de empresa vertical, a diferencia del nuestro que ha sido enfocado desde el aspecto de autonomía operacional y cooperación entre sistemas.

VII. AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo ha sido desarrollado con el financiamiento del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (CONICIT) de Venezuela bajo el programa de financiamiento a grupos de investigación, Proyecto No. G-97000824 titulado “Integración de tecnologías y sistemas de software heterogéneo en aplicaciones espacio-temporales”.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BEA Systems. The BEA Tuxedo CORBA Programming Environment. Accedido en línea en <http://edocs.bea.com>. 2003.

Bernus, P., Nemes, L. y Williams, T.J. (1996). *Architectures for Enterprise Integration*. Chapman & Hall, London-UK.

Booch, G., Jacobson I., and Rumbaugh J. (1998). *The Unified Modeling Language User Guide*. Addison-Wesley, Massachusetts-USA.

Centauro. (2001). “Integración de Sistemas y Tecnologías de Software Heterogéneo en Aplicaciones Espacio-temporales”. Proyecto CONICIT No. G-97000824. ULA, Facultad de

Ingeniería, Escuela de Sistemas, <http://www.centauro.ing.ula.ve/itsh/>

Chacón, E., Szigeti, F. y Camacho, O. (1996). Integral Automation of Industrial Complexes Based on Hybrid Systems. *ISA Transactions*. 35 (), 427-44.

Chacón, E., Besembel, I., Narciso, F., Montilva, J. y Colina, E. (2002). An Integration Architecture for the Automation of Continuous Production Complexes. *ISA Transactions*. Aceptado para publicación.

Chacón, F. A. (1999). Integración de *Software Heterogéneo* a través de Sistemas de Información Web: Arquitectura y Metodología. Tesis de Maestría. Universidad de Los Andes. Facultad de Ingeniería. Postgrado en Computación, Mérida-Venezuela.

Chauvet, J-M. (1997). Corba, Active X y Java Beans. Ediciones Gestión 2000, Barcelona-España.

Doumeingts, G., Vallespir, B., Darricar, D. and Roboam, M. (1987). Design methodology for advanced manufacturing systems. *Computers in Industry*, 9 (4), p. 271-296.

IBM. Start here to learn about Web Services. Accedido en línea en <http://www.ibm.com/developerworks>. 2003.

Kosanke, K., Vernadat, F., Zelm, M. (1999). CIMOSA: enterprise engineering and integration. *Computers in Industry*, 40 (2-3), 83-97.

Lim, S.H., Juster, N. and Pennington, A. (1997). Enterprise modeling and integration: a taxonomy of seven key aspects. *Computers in Industry*, 34, p. 339-359.

Linthicum, D.S. (2000). *Enterprise Application Integration*. Addison-Wesley, Boston-USA.

Microsoft. COM Specification. Accedido en línea en <http://www.microsoft.com>. 1999.

Microsoft. .Net Framework Development Guide. Accedido en línea en <http://www.microsoft.com>. 2002.

Montilva, J. (1999). “An Object-Oriented Approach to Business Modeling in Information Systems Development”. Proc. of the 5th Int. Conf. on Information Systems, Analysis and Synthesis, SCI/ISAS '99, Orlando-USA, Vol.2, p. 358-364.

Montilva, J., Chacón E. y Colina, E. (2001). Un método para la automatización integral de empresas de producción continua. *Revista Información Tecnológica*, Vol. 12, No. 6, p. 147-156.

Monson-Haefel, R. (2000). Enterprise JavaBeans. 2nd. Edition. O'Really, California-USA.

Object Management Group. Common Object Request Broker Architecture Specification, Revision 2.5. Accedido en línea en <http://www.omg.org>. 2001.

Siegel, J. (2000). CORBA 3: Fundamentals and Programming. 2nd edition. John Wiley & Sons, NY-USA.

Software Engineering Institute. Software Technology Review Technology Descriptions. Accedido en línea en <http://www.sei.cmu.edu/str/descriptions>. 2003.

Spewak, S.H. (1993). Enterprise Architecture Planning, Developing a Blueprint for Data, Applications, and Technology. John Wiley & Sons. New York-USA.

Sun Microsystems. Java Remote Method Invocation Specification, Revision 1.50. Accedido en línea en <http://java.sun.com>. 1998.

Sun Microsystems. Enterprise JavaBeans Specification, Version 2.0. Accedido en línea en <http://java.sun.com>. 2001.

Williams, T. J. (1994). The Purdue Enterprise Reference Architecture. *Computers in Industry*, 24 (), 141-158.

Zahavi, R. (2000). Enterprise Application Integration with CORBA. John Wiley & Sons. New York-USA.