

UN MÉTODO DE AUTOMATIZACIÓN INTEGRAL PARA SISTEMAS DE PRODUCCION CONTINUA ¹

J.A. MONTILVA (1), E.A. CHACON (1) y E. COLINA (2)

Univ. de Los Andes, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería de Sistemas, (1) Departamento de Computación, (2) Departamento de Control, Av. Tulio Fábres Cordero, 5101 Mérida-Venezuela (e-mail: jonas@ing.ula.ve)

RESUMEN

En este artículo se describe un método para la elaboración de planes estratégicos de automatización integral, los cuales permiten definir la estructura global integrada de información, decisión, comunicación y control que requiere una empresa de producción continua. El método se basa en una arquitectura de referencia para el modelado e integración empresarial denominada Modelo Referencial de Automatización Integral (MRAI), el cual constituye la plataforma conceptual de este trabajo. Tanto el modelo como el método están dirigidos a los sistemas de producción continua.

A METHOD FOR THE INTEGRAL AUTOMATION OF CONTINUOUS PROCESS SYSTEMS

Keywords: Enterprise Modeling, Enterprise Integration, Industrial Automation,

¹ Publicado en las *Actas de las IV Jornadas Panamericanas de Automatización*. Caracas, Venezuela, Mayo, 2000.

1.- INTRODUCCION

La integración de las aplicaciones de control y gestión de producción se ha convertido en una necesidad ineludible en la mayoría de las empresas de producción. Esta necesidad tiene su origen en la gran diversidad de soluciones de software que una empresa, de esta naturaleza, utiliza para llevar a cabo sus diferentes procesos productivos y de gestión. Muchos de estos productos provienen, por lo general, de diferentes proveedores de software. Otros emplean modelos conceptuales y paradigmas muy diferentes y no tienen, por consiguiente, la capacidad de comunicarse entre sí o integrarse a otros productos. Por otro lado, la ausencia de integración entre los procesos físicos y los procesos de gestión, en términos de las decisiones y la información que debe fluir entre estos procesos, es un problema largamente reconocido en la industria de procesos. A esta situación se une la ausencia de una planificación estratégica que defina de antemano las necesidades de información de la empresa de una manera global, integral y de largo plazo.

En este artículo se propone un método, denominado METAS (MÉTODO para la Automatización Integral de Sistemas de Producción Continua), el cual sirve de guía para la elaboración de planes estratégicos de automatización integral que permitan definir la estructura global integrada de información, gestión, comunicación y control que requiere una empresa de producción continua. El método se basa en la aplicación de las técnicas provenientes de los Sistemas de Información Empresarial y de la Ingeniería de Software Orientado a Objetos. En particular, se emplean los conceptos de objetos y procesos de negocios para construir un modelo integral del negocio, cuya elaboración se basa en la aplicación del lenguaje de modelado UML (Unified Modeling Language) [1].

El método emplea, como su base conceptual, una arquitectura de referencia a la cual hemos denominado Modelo Referencial de Automatización Integral (MRAI). Esta arquitectura describe los elementos tecnológicos y de gestión esenciales para alcanzar un alto nivel de integración y automatización en una empresa de producción continua. MRAI está fundamentado en la clásica pirámide de automatización y contempla, además del proceso físico inherente a la actividad central de una empresa de producción, cinco caras o elementos integrados que representan diferentes aspectos de una empresa. Estas caras, denominadas arquitecturas, son las siguientes: arquitectura de procesos de decisión, arquitectura de objetos de datos, arquitectura de aplicaciones de software, arquitectura de tecnologías de información y comunicaciones (*hardware*, *software* y redes) y arquitectura de tecnologías de producción.

El método propuesto muestra como diseñar cada una de las cinco arquitecturas mencionadas anteriormente y describe los pasos necesarios para lograr la integración de estas caras con el proceso productivo propiamente dicho. El producto principal de la aplicación del método es el plan de automatización e integración de sistemas de una empresa.

El resto de este artículo está organizado de la siguiente manera. La sección 2 presenta el modelo MRAI sobre el cual se elaboró el método METAS. La sección 3 describe las fases y pasos que conforman METAS. Finalmente, la sección 4 discute las principales conclusiones del trabajo realizado.

2.- MRAI: UN MODELO REFERENCIAL PARA LA AUTOMATIZACION INTEGRAL

La necesidad de lograr la integración de los procesos de decisión, información, control y producción de una empresa es un hecho ampliamente discutido en la literatura del área. Los esfuerzos existentes por lograr dicha integración se enmarcan dentro del área conocida como "Modelado e Integración Empresarial".

El Modelado e Integración Empresarial es un cuerpo de conocimientos muy reciente que comprende conceptos, modelos, métodos y técnicas para "la definición, el análisis, el rediseño y la integración de procesos de negocio, procesos de datos y conocimiento, aplicaciones de software y sistemas de información dentro de una empresa, con el propósito de mejorar el rendimiento global de la organización" [2].

Uno de los resultados más importantes del Modelado e Integración Empresarial lo constituyen las arquitecturas de referencia, las cuales describen, de una manera genérica, como lograr la integración de los procesos y elementos antes mencionados. Una arquitectura es un modelo o patrón que establece los aspectos más importantes que deben considerarse durante el proceso de modelado e integración empresarial. Tres arquitecturas ampliamente conocidas son la arquitectura de sistemas abiertos CIMOSA, el modelo de referencia GRAI-GIM y la arquitectura de referencia empresarial Purdue - PERA [3]. Aunque estas arquitecturas y sus correspondientes metodologías claman ser genéricas - aplicables a cualquier tipo de empresa -, en la práctica su orientación y aplicabilidad ha sido demostrada en empresas de manufactura.

Las industrias de procesos continuos, tales como las refinerías y las empresas de producción de petróleo y gas, tienen características muy propias que no son consideradas en las arquitecturas antes mencionadas.

Vistos como sistemas, estas empresas están compuestas por un conjunto de unidades de producción o subsistemas semi-autónomos que transforman entradas en productos intermedios o finales a través de un proceso continuo. Estos subsistemas deben trabajar en

una manera coordinada para asegurar una producción óptima bajo diversas condiciones, tales como variaciones en la producción requerida (p.e., volumen y calidad), fallas en los equipos, paradas de planta, cambios en el mercado, etc.

En esta sección se describe brevemente el Modelo de Referencia de Automatización Integral (MRAI). Este modelo representa una arquitectura de referencia orientada hacia los sistemas de producción continua, la cual provee un marco de referencia para lograr la integración de datos, información, control y toma de decisiones en industrias de procesos continuos.

La figura 1 ilustra la arquitectura MRAI la cual se basa en la pirámide de automatización planteada en [4].

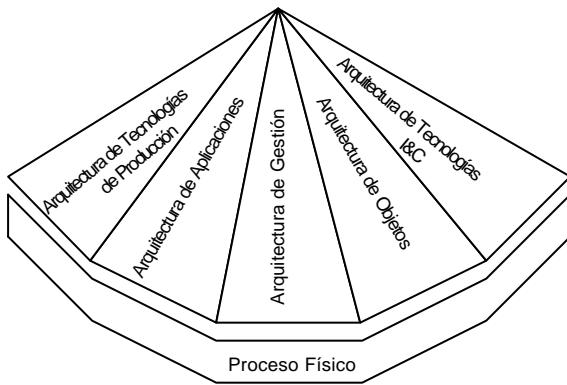


Fig. 1. El Modelo Referencial de Automatización Integral

MRAI considera cinco caras denominadas, también, arquitecturas, las cuales representan las estructuras que deben tener los elementos de datos, información, control y decisión de una empresa con el fin de alcanzar un alto grado de automatización integral. Estas cinco arquitecturas descansan sobre el proceso productivo propiamente dicho, al cual denominamos proceso físico. Su carácter piramidal se asocia a la estructura jerárquica de los procesos de toma de decisiones, la cual divide estos procesos en tres áreas: (1) gerencia estratégica, ubicada en el tope de la pirámide; (2) gerencia táctica o control gerencial, ubicada en el medio de la pirámide; y (3) gerencia operacional o control de producción, ubicada directamente sobre el proceso físico.

El proceso físico está representado como la base de la pirámide. El modelo de este proceso captura los procesos básicos de transformación o producción continua de productos, que convierten materia prima o productos semi-elaborados en productos semi-finales o finales, respectivamente.

Los procesos de toma de decisiones de la empresa, requeridos para gerenciar el negocio a diferentes niveles jerárquicos, se modelan en la arquitectura central de la pirámide, denominada *arquitectura de procesos de decisión*.

Las tecnologías que se emplean para transformar materia en productos se representan en la *arquitectura de tecnologías de producción*. Esta arquitectura está estrechamente ligada al proceso físico, pues las actividades o funciones del proceso físico son realizadas con el auxilio de estas tecnologías. La separación entre el proceso físico y sus tecnologías permite alcanzar un mayor grado de independencia tecnología-proceso, la cual es fundamental en empresas cambiantes o en evolución.

Los elementos de datos, información y control, empleados por las tres arquitecturas ya mencionadas, se modelan a través de la arquitecturas de objetos, de aplicaciones y de tecnologías de información y comunicaciones.

La arquitectura de objetos representa los tipos de entidades del negocio que de una u otra forma participan en sus diferentes procesos. Los materiales, los productos, los proveedores, los clientes, los empleados, los equipos representan, entre otros, tipos de entidades que comúnmente forman parte de un negocio de producción continua. Esta arquitectura define las bases de datos y *data warehouses* requeridas por la empresa para soportar sus diferentes aplicaciones de software.

La arquitectura de aplicaciones describe todas y cada una de las aplicaciones de *software* que integran el negocio y que son vitales para apoyar la ejecución tanto del proceso físico, como de los procesos de decisiones. La información requerida para llevar a cabo estos procesos la proporciona los componentes de esta arquitectura, la cual está estructurada en varios niveles de complejidad. El nivel más alto de la arquitectura contempla cada uno los sistemas de información que posee el negocio y las relaciones que existen entre ellos. A un nivel intermedio se identifican las herramientas de planificación de recursos, tales como *ERP (Enterprise Resource Planning)* y *MRP (Manufacturing Resource Planning)*. En el nivel más bajo se definen los paquetes de aplicaciones de propósito específico, empleados para satisfacer necesidades muy particulares o concretas del negocio, tanto del proceso físico (p.ej., controladores, analizadores y herramientas virtuales) como de los procesos de toma de decisiones (p.ej., procesadores de texto, paquetes gráficos y hojas de cálculo). La integración entre estas aplicaciones, que normalmente son heterogéneas, es también un aspecto muy importante que esta arquitectura toma en consideración.

En [5] se propone un esquema de integración para esta pirámide el cual está basado en agentes inteligentes.

Finalmente, la pirámide MRAI incluye, bajo la forma de arquitectura, todas las tecnologías de información y comunicación sobre las que se implementan las arquitecturas de aplicaciones y objetos. Las redes de computadores, los equipos de computación y el software de operación y desarrollo son los componentes fundamentales de esta última arquitectura.

La base y las cinco caras de la pirámide de automatización, que en esta sección hemos descrito, es la base conceptual sobre la cual se diseñó el método que se presenta a continuación.

3.- METAS: UN MÉTODO PARA LA AUTOMATIZACIÓN INTEGRAL DE SISTEMAS

Un recurso esencial en la automatización integral de un proceso de producción continua es el *plan estratégico de automatización*. Este plan describe las actividades que la empresa debe realizar para alcanzar un alto nivel de automatización e integración en sus procesos. Para elaborar un plan de esta naturaleza se requiere de una metodología que tome en consideración los elementos fundamentales de automatización e integración, tal como los define MRAI.

METAS es un método para la automatización integral de empresas de producción continua basada en el Modelo MRAI, descrito en la sección anterior. El resultado o salida principal de la aplicación de METAS es un plan estratégico de automatización integral para un determinado proceso productivo continuo.

3.1.- Objetivos de METAS

El objetivo principal de este método es guiar el proceso de desarrollo de planes estratégicos de integración o planes maestros de automatización (PMA), mediante la especificación o diseño de cada una de las caras o arquitecturas contempladas en el modelo MRAI. Esto es:

- Arquitectura de los procesos de decisión
- Arquitectura de tecnologías de producción
- Arquitectura de objetos de datos
- Arquitectura de aplicaciones y sus mecanismos de integración
- Arquitectura de tecnologías I&C: Hardware/Software/Redes

EL plan estratégico elaborado a través de 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.

3.2.- Actividades preliminares del método

Previo a la aplicación del método METAS se requiere llevar a cabo actividades preliminares que aseguren la efectiva aplicación del método y den inicio al estudio de automatización. Estas actividades se describen a continuación:

3.2.1.- Determinación de los objetivos y alcance del estudio.- Antes de iniciar la aplicación del método es necesario establecer claramente los objetivos del estudio de automatización integral, así como su alcance dentro de la empresa. Los objetivos del estudio están evidentemente relacionados con los problemas que la empresa presenta debido a una ausencia de integración entre sus procesos y aplicaciones. El análisis de estos problemas es necesario para poder determinar el alcance de la automatización.

En este método, se utiliza el término "*sistema empresarial*" referirnos al alcance del estudio, es decir, el conjunto de áreas de la empresa en la que se realizará el proceso de automatización e integración empresarial. El estudio puede llevarse a cabo en uno de tres niveles diferentes, a saber:

- Nivel de empresa.- Abarca la totalidad de la organización productiva.
- Nivel de planta.- Cubre una de las plantas específicas que tiene la empresa.
- Nivel de unidad de producción. Cubre una unidad productiva determinada.

El sistema empresarial está compuesto por dos subsistemas estrechamente relacionados:

- **Sistema de Negocios.**- Enmarca todos los procesos de gestión, objetos de negocios y elementos organizacionales asociados a la toma de decisiones del sistema empresarial. El sistema de negocios cubre los tres niveles jerárquicos de la pirámide de automatización y se encarga de realizar los procesos de planificación, programación, organización, administración o gestión de recursos, dirección empresarial y control gerencial del proceso productivo.
- **Proceso Productivo.**- Se refiere a los procesos de producción continua propiamente dichos, es decir, aquellas actividades que con el apoyo de la tecnología se encargan de transformar materia prima o productos intermedios en productos finales. Este proceso es comúnmente referido como *proceso físico* y es planificado, programado, dirigido y controlado por el Sistema de Negocios.

3.2.2.- Organización del grupo de trabajo.- La aplicación del método requiere la conformación previa de un grupo de trabajo multi-disciplinario encargado de llevar a cabo las diferentes actividades que ella

describe. Este grupo, a cual nos referiremos como el *grupo de automatización*, debe estar integrado por ingenieros o especialistas en sistemas y computación, ingenieros de control y usuarios claves de la empresa, tales como gerentes de planta, gerentes de producción y supervisores, quienes deberán conocer suficientemente bien el problema, así como el sistema empresarial y sus dos componentes: sistema de negocios y proceso productivo.

3.2.3.- *Elaboración del plan de trabajo.*- Este plan determina las actividades específicas que el grupo de automatización debe realizar para llevar a cabo el estudio de automatización integral. Estas actividades se basan en aquellas establecidas por el método METAS. El plan incluye, también, una estimación del costo del estudio y los recursos humanos, materiales y computacionales requeridos para realizarlo.

3.2.4.- *Aprobación del plan de trabajo.*- Una vez elaborado el plan de trabajo, este se presenta a la gerencia correspondiente a fin de obtener su aprobación y los recursos necesarios para iniciar el estudio de acuerdo a las actividades establecidas en la sección siguiente.

3.3.-Descripción de las actividades de METAS.-

METAS tiene una estructura de trabajo jerárquica compuesta por tres tipos de actividades: fases, pasos y tareas. Esta estructura está inspirada en el método de planificación estratégica de sistemas de información EAP de Steven Spewak [6].

En el primer nivel de nuestra estructura de trabajo se encuentran las siguientes fases:

1. Modelado preliminar del negocio
2. Modelado del proceso productivo
3. Definición de los requerimientos de información, automatización e integración empresarial
4. Diseño de la Arquitectura de Procesos de Gestión
5. Diseño de la Arquitectura de Objetos de Datos
6. Diseño de la Arquitectura de Aplicaciones
7. Definición y especificación de los Sistemas de Integración
8. Diseño de la Arquitectura de Tecnología de Información & Comunicaciones
9. Elaboración del Plan de Automatización

Cada una de estas fases se divide en pasos y estos, a su vez, en tareas, tal como se resume en las sub-secciones siguientes.

Fase 1: Modelado Preliminar del Sistema del Negocios

Esta primera fase tiene por objetivo ayudar al grupo de automatización a obtener un conocimiento global del negocio objeto de estudio. Esta fase incluye la determinación y documentación de los objetivos del sistema empresarial, sus funciones, sus objetos de negocios y su estructura organizacional. Los pasos requeridos en esta actividad son los siguientes:

1. Definición de los fines del sistema empresarial y su sistema de negocios,
2. Definición de la cadena de valor del sistema empresarial
3. Descripción preliminar de las funciones del negocio
4. Identificación de la estructura organizativa enmarcada en el sistema empresarial
5. Identificación de los principales objetos del negocio
6. Documentación y validación del modelo preliminar del negocio

Los fines que persigue el sistema empresarial son establecidos en primer lugar. Estos fines se clasifican, en base a su alcance, en cuatro grupos: misión, valores, objetivos y metas.

La cadena de valor representa la secuencia lógica que llevan los procesos de producción y sus correspondientes procesos de decisión o soporte gerencial, vistos desde una perspectiva muy general o global. La figura 2 ilustra la estructura de este tipo de modelo.

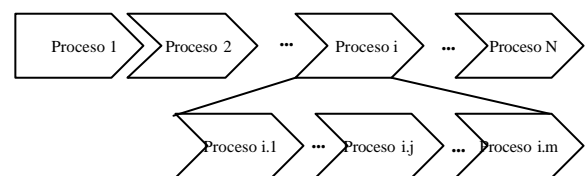


Fig. 2. Cadena de valor de un proceso productivo

Partiendo de la cadena de valor se construye un modelo de procesos de negocios más detallado, el cual representa, a varios niveles de abstracción, los diferentes procesos de gestión de la cadena de valor, así como sus relaciones, entradas, salidas y flujos de información. Los diagramas de actividades del lenguaje UML [1] constituyen una excelente herramienta para llevar a cabo esta actividad de modelado.

Las diferentes unidades organizacionales que intervienen en el sistema de negocio se identifican a partir de los organigramas de la empresa. Estas unidades agrupan los actores del sistema, es decir, las personas que participan en el sistema de negocios ejecutando sus procesos de decisión.

Los objetos del negocio son todas aquellas entidades que intervienen en el sistema empresarial y cuyos datos son necesarios para poder producir la información requerida por el sistema de negocios. Los clientes, los productos, la materia prima, los equipos, los empleados son, entre otros, algunos de los objetos de negocios más representativos de un sistema de negocios de producción continua. Estos objetos y sus relaciones se pueden modelar mediante diagramas de clases UML.

El conjunto de diagramas obtenidos en esta fase se relacionan y ensamblan para producir el *modelo preliminar de negocios*, un documento que describe el estado actual del sistema empresarial y, en particular, de su sistema de negocios.

Un meta-modelo empresarial que puede servir de base para construir el modelo de negocios se introduce en [7]. Los detalles de cómo elaborar un modelo de negocios para empresas de producción continua se presenta en [8].

Fase 2: Modelado del Proceso Productivo Continuo

El propósito de esta fase es obtener una visión global de todas las plantas, esto es, un conocimiento integral del proceso productivo propiamente dicho, de sus tecnologías y métodos de producción. Mediante esta fase el grupo de planificación establece los siguientes aspectos del proceso productivo:

- (1) la estructura, topología, interrelaciones, modelo de rendimiento, autonomía y distribución física del proceso productivo;
- (2) los métodos de control, de evaluación de rendimiento, de medición del estado del proceso y dependencia de activos; y
- (3) la arquitectura de control jerárquico y de comunicaciones que requiere el proceso productivo, incluyendo los planes de producción, la asignación de tareas por unidades de producción y la supervisión del control directo.

Los pasos contemplados en esta fase son los siguientes:

1. Recolección de información sobre el proceso productivo
2. Descripción funcional y estructural de la(s) planta(s)
3. Identificación de los métodos de control y evaluación
4. Identificación de la arquitectura de control jerárquico
5. Establecimiento de relaciones entre el modelo de negocios y el modelo del proceso productivo

6. Documentación y validación del modelo del proceso productivo

Fase 3: Definición de los requerimientos de información, automatización e integración empresarial

El objetivo de esta fase es establecer los requerimientos que los actores del sistema empresarial esperan que el proceso de automatización integral satisfaga. Estos requerimientos se dividen en tres tipos:

- **Requerimientos de información.-** Describen las necesidades de información de los procesos de decisión del modelo de negocios. Esto es, la información requerida para llevar a cabo cada uno de los procesos de negocios del sistema empresarial.
- **Requerimientos de automatización.-** Se relacionan con la automatización y el control de los procesos productivos. Entre estos requerimientos se encuentran los mecanismos de control de los procesos productivos y la información que requieren estos mecanismos para poder operar.
- **Requerimientos de integración.-** Este tipo se refiere a las relaciones de información, control y decisión entre el sistema de negocios y el proceso productivo. El flujo de información que debe existir entre el sistema de negocios y el proceso productivo es uno de estos requerimientos. De igual manera, la integración entre las aplicaciones que apoyarán la automatización es otro de estos tipos de requerimientos.

Los pasos de esta fase son, entonces, los siguientes:

- Definición de los requerimientos de información para el sistema de negocios.
- Definición de los requerimientos de automatización del proceso productivo.
- Definición de los requerimientos de integración del sistema empresarial.
- Validación de los requerimientos con los actores principales del sistema empresarial.

Fase 4: Diseño de la Arquitectura de Procesos de Decisión

Los modelos producidos en las fases 1 y 2 describen el sistema empresarial que actualmente tiene la empresa. Todo proceso de automatización integral demanda e implica necesariamente cambios en este sistema. Estos cambios apuntan a la solución de los problemas de integración que el sistema empresarial tiene hasta este momento.

La arquitectura de procesos de decisión, al igual que las otras arquitecturas, modelan un nuevo sistema empresarial que resuelve los problemas que motivaron el esfuerzo de automatización integral y que satisface los requerimientos establecidos en la Fase 3.

Esta fase tiene, por lo tanto, como objetivos modelar, relacionar y documentar los procesos de decisión que manejarán el proceso productivo del nuevo sistema empresarial. El resultado de esta fase es la Arquitectura de Procesos de Decisión del nuevo sistema empresarial, tal como se define en el Modelo Referencial de Automatización Integral (MRAI) descrito en la Sección 2.

La arquitectura de decisión contempla, al menos, cuatro niveles jerárquicos de decisión que van desde el nivel de control directo y/o regulatorio, ubicado en la base de la pirámide, subiendo por los niveles de coordinación y optimización, hasta llegar al nivel de planificación en el tope de la pirámide.

El desarrollo de la fase se realiza a través de la ejecución de los pasos siguientes:

1. Programación de entrevistas y reuniones con personal clave
2. Descripción del nivel de control directo y/o regulatorio
3. Descripción del nivel de coordinación (centros de control)
4. Descripción del nivel de optimización
5. Descripción del nivel de planificación
6. Descripción de los procesos de apoyo o soporte administrativo
7. Modelado de los procesos de decisión
8. Documentación y validación de la Arquitectura de Procesos de Gestión.

Estos pasos se realizan mediante la aplicación de reingeniería de procesos y el modelado funcional. Las entrevistas y reuniones con personal clave constituyen el mecanismo fundamental para lograr una arquitectura de procesos de decisión que satisfaga realmente los requerimientos de los actores del sistema empresarial.

Cuando el alcance de la automatización es al nivel empresarial, los pasos 2 – 4 se realizan en cada una de las plantas de producción involucradas en el proceso de automatización

Fase 5: Diseño de la Arquitectura de Objetos

Mediante esta fase el grupo de automatización debe identificar, clasificar, relacionar y documentar los tipos de objetos de negocio que conforman o están relacionados con el sistema empresarial. El resultado de

esta fase es la Arquitectura de Objetos de Datos que deberá tener el nuevo sistema empresarial, tal como se describe en el Modelo Referencial de Automatización Integral (MRAI).

Para el desarrollo de esta fase el grupo debe seguir los siguientes pasos:

1. Identificación de clases para cada proceso de negocios del modelo preliminar.
2. Definición de la estructura, comportamiento y relaciones de generalización, asociación y agregación para las clases identificadas.
3. Elaboración de los diagramas de clases de objetos de negocio.
4. Integración de diagramas de clases y definición de las bases de objetos o bases de datos requeridas por el sistema empresarial.
5. Identificación de las relaciones entre la arquitectura de objetos y la de procesos.
6. Documentación y validación de la Arquitectura de Objetos de Negocio.

Fase 6: Diseño de la Arquitectura de Aplicaciones

En esta fase se determina el conjunto de aplicaciones de software que serán utilizadas para apoyar la arquitectura de procesos de decisión y el proceso productivo propiamente dicho.

El término “aplicaciones” agrupa tres tipos de sistemas de software:

- (1) los sistemas de información,
- (2) las herramientas de desarrollo de aplicaciones incluyendo, entre otras, las herramientas ERP (*Enterprise Resource Planning*), MRP (*Manufacturing Resource Planning*), DBMS (*Data Base Management Systems*) y CASE (*Computer Aided Software Engineering*); y
- (3) las herramientas de productividad, tales como sistemas de hojas de cálculo, procesadores de palabras, sistemas de graficación, sistemas de instrumentación virtual, etc.

Los sistemas de información son los componentes principales de la arquitectura de aplicaciones, pues ellos proveen la información que el sistema empresarial requiere para realizar sus procesos de decisión y de producción. Las herramientas de desarrollo de aplicaciones y las herramientas de productividad constituyen el soporte tecnológico o software sobre el cual se desarrollan y/o basan los sistemas de información empresarial.

Los pasos que se siguen en esta fase se enumeran a continuación:

1. Identificación y definición de los sistemas de información requeridos por el sistema empresarial.
2. Identificación de las herramientas de desarrollo y productividad.
3. Selección de los proveedores de herramientas de desarrollo y productividad.
4. Especificación preliminar de los sistemas de información y sus interrelaciones (red de aplicaciones)
5. Establecimiento de relaciones entre la arquitectura de aplicaciones y las de procesos y objetos.
6. Documentación y validación de la Arquitectura de Aplicaciones.

Fase 7: Definición y especificación de los Sistemas de Integración

Esta fase persigue la identificación, selección, definición y especificación de los mecanismos o sistemas que integrarán las arquitecturas del sistema empresarial.

La integración en el modelo MRAI se puede realizar de tres maneras diferentes:

- **Integración entre procesos.-** Contempla básicamente dos tipos de integración: (a) la integración entre procesos de decisión ubicados en diferentes niveles de la pirámide y (b) la integración entre procesos de decisión y procesos productivos. En ambos casos, los mecanismos básicos de integración son la información proporcionada por los sistemas de información y los flujos automatizados de trabajos (*workflow*).
- **Integración de aplicaciones.-** Consiste en integrar los diferentes componentes de la arquitectura de aplicaciones. La tecnología WWW, la tecnología de agentes y las bases de meta-datos son dos posibles mecanismos que pueden ser aplicados para resolver este problema. Un esquema de integración de aplicaciones basado en agentes inteligentes se propone en [5]. La integración de aplicaciones mediante interfaces *web* es ampliamente discutida en [9]
- **Integración de datos.-** Las bases de datos definidas en la arquitectura de aplicaciones requieren ser integradas para poder ser efectivamente usadas por los sistemas de información. Dos mecanismos importantes de integración de datos son las bases de meta-datos y los *data warehouses*. Estos mecanismos se discuten en [9].

Los pasos a seguir se indican a continuación:

1. Identificación de sistemas alternativos de integración.
2. Selección de los sistemas de integración de procesos, de aplicaciones y de datos.
3. Definición de cada sistema de integración.
4. Especificación preliminar de cada sistema de integración.
5. Validación de los sistemas de integración.

Fase 8: Definición de la Arquitectura de Tecnologías de Información y Comunicaciones

Una vez definidas las arquitecturas de objetos y aplicaciones, el grupo de automatización debe ahora determinar como, donde y con qué tecnologías estas arquitecturas serán implementadas. Esta fase consiste, entonces, en identificar las tecnologías de información y comunicaciones que soportarán estas dos arquitecturas. En concreto, se requiere definir el *hardware*, el *software* de soporte y la red de datos y comunicaciones sobre las que se implementará la solución especificadas en las otras arquitecturas.

En esta fase el grupo debe realizar los siguientes pasos:

1. Identificar diferentes estrategias y plataformas de información y comunicación
2. Seleccionar las plataformas de I&C para control directo, supervisorio, gestión e integración
3. Relacionar la arquitectura de I&C con las de procesos, objetos y aplicaciones
4. Documentar y validar la Arquitectura de Tecnologías de Información y Comunicaciones

Fase 9: Elaboración del Plan de Automatización Integral

El paso final del método propuesto es la elaboración del plan estratégico de automatización integral, el cual determina las actividades necesarias para implementar las diferentes arquitecturas y componentes del nuevo sistema empresarial, así como los recursos financieros, humanos y tecnológicos requeridos por el proceso de implementación del plan.

Los pasos que se siguen para elaborar el plan estratégico son los siguientes:

1. Establecer las actividades generales requeridas para implementar cada arquitectura.
2. Definir los proyectos de desarrollo o implementación de las arquitecturas del nuevo sistema empresarial.
3. Establecer la secuencia de desarrollo e instalación de las arquitecturas (cronograma de actividades).

4. Estimar los costos, tiempos y recursos necesarios para implementar e instalar las arquitecturas.
5. Definir los factores críticos de éxito para la implementación.
6. Determinar estrategias para la implementación y operación del nuevo sistema empresarial (incluyendo el rediseño de la estructura organizacional, el adiestramiento del personal, las estrategias de conversión del sistema actual al nuevo, etc.
7. Documentar y validar el plan estratégico de automatización integral

El plan de automatización integral es el producto principal de METAS. Como todo plan estratégico, su objetivo es definir a largo o mediano plazo el camino a seguir para alcanzar un mayor grado de automatización integral en el sistema empresarial.

Este plan determina un conjunto de proyectos que describen la implementación de los componentes de las arquitecturas diseñadas. El nivel de especificación y diseño de las arquitecturas, que se logra mediante la aplicación de METAS, es bastante general, pues se asume que los detalles de especificación y diseño de cada componente de estas arquitecturas son ejecutados durante la implementación y son definidos en sus respectivos planes tácticos.

4.- CONCLUSIONES

METAS es el resultado de un esfuerzo de integración de conceptos, modelos y procesos provenientes de varias disciplinas:

- Automatización Integral de SPC
- Ingeniería de Software Orientado a Objetos
- Modelado Empresarial
- Planificación de Recursos Empresariales (*ERP*)
- Planificación de Sistemas de Información

Su principal contribución al proceso de automatización integral es introducir un orden lógico y coherente en el complejo proceso de lograr un mayor grado de automatización y integración en un sistema de producción continua. El método guía paso a paso al grupo responsable por lograr la automatización de un sistema. Sus fases, pasos y tareas son, sin embargo, un patrón a seguir que indican que hacer, más no una fórmula o receta que describa como realizar este complejo proceso.

Su orientación es hacia empresas de producción continua, lo cual marca una diferencia importante con respecto a otros métodos existentes y más conocidos, tales como *CIMOSA*, *GRAI-GIM* y *PERA* [1].

Por restricciones obvias de espacio, hemos descrito en este artículo el método de una manera muy superficial. Algunos elementos metodológicos que fueron omitidos son los detalles de los pasos y tareas, las técnicas que se emplean en cada paso o tarea, una descripción de los productos de cada fase y la ejemplificación de su aplicación.

En su estado actual, el método aún requiere pasar por dos etapas fundamentales: su validación en aplicaciones reales y su refinación o ajuste.

5.- 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.

6.- BIBLIOGRAFIA

- [1] G. Booch, I. Jacobson, and J. Rumbaugh. The Unified Modeling Language User Guide. Addison-Wesley. 1998.
- [2] S.H. Lim, N. Juster, and A. Pennington. Enterprise modelling and integration: a taxonomy of seven key aspects, *Computers in Industry*, 34 (1997). 339-359.
- [3] P. Bernus, L. Nemes, and T.J. Williams. *Architectures for Enterprise Integration*. London: Chapman & Hall, 1996.
- [4] E. Chacón, F. Szigeti, and O. Camacho. Integral Automation of Industrial Complexes Based on Hybrid Systemaq. *ISA Transactions*. Vol. 35. 1996, 427-445.
- [5] E. Chacón, A.I. Molina, and J. Montilva. Object-Oriented Modeling to Build Integrated Automation for Continuous Production Systems. Proc. Of the 5th. International Conference on Information Systems, Analysis and Synthesis (SCI/ISAS'99). Orlando, FL., USA. Vol. 2, pp.296-301.
- [6] S. H. Spewak. *Enterprise Architecture Planning, Developing a Blueprint for Data, Applications, and Technology*. John Wiley & Sons. 1993.
- [7] J. Montilva. An Object-Oriented Approach to Business Modeling in Information Systems Development. Proc. Of the 5th. International Conference on Information Systems, Analysis and Synthesis (SCI/ISAS'99). Orlando, FL., USA. Vol. 2, pp.358-364.
- [8] J. Montilva and E. Chacón. *Business Modeling for Automation & Enterprise Integration in Continuous Process Systems*. Artículo en preparación.
- [9] F. A. Chacón. *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. 1999.