

# Sistemas multiagentes para la planificación y manejo de los factores de producción en automatización

## Multiagents systems for planning and management of the production factors in automation

Aguilar, José<sup>\*</sup>; Rivas, Francklin y Cerrada, Mariela  
CEMISID, EISULA, Facultad de Ingeniería. ULA  
Mérida, 5101-Venezuela  
<sup>\*</sup>aguilar@ula.ve

Chacal, Jorge y Bravo, César  
PDVSA División Occidente

Recibido: 18-12-2008

Revisado: 15-01-2010

### Resumen

*En este trabajo se propone un marco de referencia para tareas de planificación y manejo de los factores de producción en automatización. Después, dicho marco es modelado usando agentes, para lo cual se usa la metodología de especificación de agentes MASINA. Dicho modelo basado en agentes tiene características propias de estos sistemas, tales como autonomía y capacidades inteligentes en sus componentes, distribución de funciones y emergencia, entre otras.*

**Palabras clave:** Automatización industrial, sistemas multiagentes, planificación de la producción, manejo de factores de producción.

### Abstract

*In this paper we propose a framework for planning and managing production factors tasks in automation. Such a framework is modeled using agents, based in the MASINA agent specification methodology. This model, based on agents, possesses characteristics proper of these systems like autonomy and intelligence, function distribution and, emergency, among others.*

**Key words:** Industrial automation, multiagent systems. production planning, production factors management.

### 1 Introducción

En general, la necesidad de la industria por mejorar sus productos, ofrecer nuevos beneficios, reducir los costos de producción y tiempos de entrega, han sido la clave para el desarrollo de nuevas tecnologías y mecanismos de control aplicados al proceso productivo.

Para mejorar el control del proceso, surge la necesidad de poder dominar las variables del mismo, lo que ha generado un desarrollo en los sensores y actuadores, alcanzando hoy día lo que conocemos como sensores inteligentes y actuadores auto-controlados. De este modo, el sector indus-

trial está invirtiendo gran cantidad de capital en equipar sus plantas con instrumentos y sistemas de control de avanzada. Sin embargo, con un buen sistema de control y supervisión, y los mejores instrumentos en campo, no se logra el nivel de automatización capaz de dar soluciones ágiles y flexibles, ya que simplemente se contaría con una planta automatizada para ejecutar control remoto desde el tercer nivel de la pirámide de automatización del modelo ISO/OSI (Nivel Supervisión).

Para lograr integrar y automatizar el proceso productivo hasta los niveles superiores de la pirámide de automatización del modelo de referencia ISO/OSI, es necesario im-

plantar tecnologías de información (TI) para analizar y manipular las variables del proceso en tiempo real, y de este modo tomar decisiones tácticas y estratégicas más eficientemente. Estas tecnologías informáticas, permiten cerrar el lazo de control desde el punto de vista de la automatización de los procesos productivos.

Esta investigación se ha interesado en las arquitecturas de integración distribuidas, donde los componentes cooperan entre sí para alcanzar los objetivos generales. En particular, la idea es utilizar los sistemas multiagentes como herramienta de modelado con la finalidad de incorporar las principales características y bondades que presentan estos sistemas, a saber: autonomía, movilidad, racionalidad, reactividad, sociabilidad, y proactividad. La tecnología de agentes está recibiendo una gran atención en los últimos años y, como consecuencia, la industria está comenzando a interesarse en adoptar esta tecnología para desarrollar sus propios productos. Ahora bien, la teoría de agentes no ha sido utilizada para la planificación en automatización.

Esta propuesta forma parte de un conjunto de trabajos realizados utilizando el enfoque de sistemas multiagentes. Inicialmente se propuso un modelo de referencia para el desarrollo de sistemas de control distribuido inteligente basado en agentes (SCDIA) (Aguilar y col., 2005), utilizando un conjunto de agentes para distribuir las funciones de los sistemas de control y supervisión. En (Aguilar y col., 2002), se propuso un Sistema de Gestión de Servicios (SGS) para el SCDIA. Con el SCDIA propuesto en (Aguilar y col., 2005), no se logra integrar la empresa, y mucho menos se ejecutan todas las actividades de automatización industrial; sin embargo, continuando con la evolución del mismo se propone en (Bravo y col., 2004), una arquitectura de integración utilizando sistemas multiagentes. En esta arquitectura se propone un modelo con tres niveles de abstracción, donde los agentes del primer nivel lo conforman los objetos del negocio, en el segundo nivel se propone un conjunto de agentes capaces de desempeñar todas las actividades relacionadas con la automatización industrial (definido como "Sistema Automatizado Distribuido Inteligente basado en Agentes - SADIA"), y en el tercer nivel se propone el uso del SCDIA. También, en (Bravo y col., 2004; Aguilar y col., 2009) se propone el modelo del Sistema Multiagentes (SMA) para el Agente Manejo de Situaciones Anormales del segundo nivel de abstracción, y en (Cerrada y col., 2007), se propone el modelo del SMA para el Agente de Manejo de Fallas, también del segundo nivel de abstracción. En (Aguilar y col., 2006), se desarrolló una plataforma computacional que encapsula el comportamiento genérico de los agentes de control del SCDIA, los cuales han sido especificados utilizando la metodología MASINA (Aguilar y col., 2007; Aguilar y col., 2008). A partir de esta plataforma se permite implantar en Java los agentes de control del SCDIA para problemas específicos.

El objetivo de esta investigación es desarrollar el modelo de referencia del Agente de Planificación y de Manejo de los Factores de Producción del segundo nivel de abstrac-

ción del modelo SADIA, con el cuál se propone resolver el problema de automatización de la planificación de la producción y del manejo de los factores de producción. Este agente será especificado utilizando la metodología MASINA (Aguilar y col., 2007; Aguilar y col., 2008), él debe generar y ejecutar el plan de cada objeto de negocio, asociado a la gestión y manejo de los recursos y productos necesarios para cumplir con las metas del proceso productivo.

## 2 Aspectos teóricos

### 2.1 Planificación de la producción y manejo de los factores de producción

La planificación de la producción se refiere a la elaboración del plan general y el plan detallado del objeto de negocio a partir de los requerimientos del negocio, modelos del proceso productivo, mecanismos de producción y/o reglas del negocio, métodos de optimización, estado global, predicciones y/o estimaciones, entre otros. Con el plan general se determinan las metas de producción del objeto de negocio en función del tiempo (el período de tiempo suele llamarse horizonte de planificación), indicando: que se va a producir, en que cantidad, quien requiere el producto, y cuando lo requiere. El plan detallado debe generar la secuencia de actividades que debe ejecutar el objeto de negocio a lo largo del tiempo, con el fin de cumplir con las metas de producción establecidas en el plan general.

El manejo de los factores de producción se refiere al control del inventario de los recursos requeridos para la ejecución del plan, control del stock de productos terminados, y manejo de los desechos.

A partir del modelo funcional del flujo de datos propuesto en (ANSI/ISA 2000), y según trabajos en el área (Harkins y col., 1999), se determinaron las principales funciones y tareas que deben ser ejecutadas por un sistema que brinde apoyo a la planificación de la producción y al manejo de los factores de producción, a saber:

a) *Procesamiento de órdenes*: entre sus principales tareas se tienen:

- Maneja, acepta y confirma las órdenes de los clientes.
- Reserva los productos, de acuerdo a las órdenes recibidas.

b) *Planificación de la producción*: un plan de producción detallado dentro de un área se define como una función de control. Las funciones generales de la planificación de la producción, son las siguientes:

- Determina el plan de producción para cada objeto de negocio.
- Identifica los requerimientos de materia prima a largo plazo
- Determina el programa de entrega de los productos terminados.

- Determina la disponibilidad de productos para la venta.
- Determina la capacidad de producción.
- Determina la condición de operación (estado del entorno).
- Optimiza el sistema, mediante el establecimiento de la mejor estrategia (mejor plan) para determinadas condiciones de operación y recursos disponibles, tomando en cuenta todas las restricciones, incluyendo las de tipo económico.
- Genera la secuencia de operaciones (programación de actividades), detallando los equipos, personal, y los mecanismos para la recepción, movilización y despacho de materia prima, productos intermedios, y productos finales.
- Genera y optimiza las órdenes de movimiento de equipos, materiales, productos y desechos, especificando el material involucrado, la cantidad del material, el origen, el destino, el tiempo inicial, y el tiempo final.

Las funciones de planificación de la producción pueden generar o modificar el plan de producción.

*c) Control del costo de producción:* las funciones para el control del costo de producción incluyen:

- Calcular y reportar los costos de producción.
- Obtener los costos de materia prima, mano de obra, energía y otros costos, para ser transmitidos a contabilidad.

*d) Control de material y energía:* entre sus principales funciones se tienen:

- Realizar los requerimientos de materia y energía (generar la solicitud para la compra) necesarios para la producción, acorde al plan de producción.
- Asignar los materiales y energía
- Optimizar dinámicamente la gestión de materiales e inventario.
- Calcular y reportar los balances de inventario, materia prima y energía utilizada.
- Recibir el material y la energía entrante para el abastecimiento, y solicitar que se apliquen las pruebas para asegurar la calidad de los mismos.

Las funciones del control de insumos y energía generan o modifican la siguiente información, que son usadas por otras funciones de control: orden de solicitud de materiales y energía; Confirmación de recepción de materiales y energía; Reporte del inventario de materiales y energía.

*e) Procura:* las funciones de la procura de recursos incluyen:

- Colocar las órdenes de compra a los proveedores de materia prima, partes, repuestos, equipos y otros materiales requeridos.
- Monitorear el estado de la compra y reportar al solicitante.
- Procesar las facturas entrantes para su pago, después de la llegada y aprobación del insumo.

La función de procura genera o modifica el Programa de entrega de material y energía.

*f) Control de Inventario de productos:* incluye las siguientes funciones:

- Manejar el inventario de los productos finales.
- Minimizar el regalo de calidad (calidad por encima de lo requerido por el cliente).
- Manejar el despacho de productos terminados, de acuerdo con el programa de entrega.
- Aportar el balance de pérdidas para la contabilidad del costo del producto.

Las funciones del control de inventario de productos generan o modifican la siguiente información para el uso de otras funciones de control: Inventario de productos terminados; Programa de entrega (despacho).

*g) Despacho de productos:* las funciones incluyen:

- Asignar los productos terminados, indicando la información del cliente que recibirá el producto, el costo del producto, la fecha de entrega, hora de entrega, transporte o medio de entrega, y toda la información pertinente a la venta del producto.
- Generar las órdenes para el manejo de desechos, indicando el tipo de producto, normas para el manejo de los desechos, responsable, fecha y hora, etc.
- Reportar los costos de transporte para la contabilidad del costo de producción.
- Confirmar la venta y entrega de productos terminados, de modo que la contabilidad general realice la facturación.

En (ANSI/ISI 2000) están los detalles de todas las funciones.

## 2.2 Sistemas multiagentes

La definición de agente es un tema controvertido, y hasta la fecha no se ha logrado un consenso para tal fin.

Dos de las definiciones más aceptadas se presentan a continuación.

- Según (Weiss, 1999): “Un agente es un sistema computacional que esta situado en un ambiente, y es capaz de tomar acciones autónomas en ese ambiente con el fin de cumplir sus objetivos de diseño”.
- Según (Wooldridge, 1995): “Un agente es un sistema computacional autónomo y flexible, que es capaz de actuar en un entorno”.

Sin embargo, se ha optado por definir una serie de propiedades que caracterizan a los agentes. Entre estas propiedades se tienen:

- Autonomía: Weiss dice que la autonomía es la noción central de los agentes, y argumenta que los agentes son autónomos si poseen la capacidad de tener un comportamiento

propio, y reaccionar a los estímulos externos basados en su estado interno, sin la intervención humana ni de otros sistemas externos.

- **Sociabilidad:** los agentes son capaces de interactuar con otros agentes (humanos o no) a través de un lenguaje de comunicación entre agentes. Una sociedad de agentes es un grupo de agente que interactúan, se comunican, conversan, “piensan”, y actúan en conjunto para lograr un objetivo común.
- **Reactividad:** los agentes son capaces de percibir estímulos de su entorno (recibir una señal, o percibir un cambio de estado en el ambiente), y reaccionar a dichos estímulos.
- **Proactividad:** los agentes no son sólo entidades que reaccionan a un estímulo, sino que tienen un carácter emprendedor, y pueden actuar guiados por sus objetivos.
- **Movilidad:** capacidad que tiene un agente de trasladarse desde un nodo a otro, dentro de un sistema distribuido.
- **Veracidad:** suposición de que un agente no comunica información falsa a propósito.
- **Racionalidad:** asunción de que un agente actúa de forma racional, intentando cumplir sus objetivos si son viables. Un agente puede razonar acerca de lo que percibe, a fin de definir una acción óptima.
- **Adaptabilidad:** esta característica está relacionada con el aprendizaje que un agente puede lograr, y con su capacidad para cambiar su propio comportamiento basado en este aprendizaje.

Teniendo clara la noción de lo que son los agentes, podemos definir un SMA como un sistema que se compone de dos o más agentes que se comunican. Los SMA son una tecnología que aborda aspectos fundamentales de investigación, tales como la coordinación, la cooperación, la negociación, etc.

La FIPA ha creado estándares para la interoperabilidad entre agentes y el diseño de SMA (FIPA), los cuales son ampliamente aceptados por la comunidad de investigación de SMA. La especificación FIPA 2000 provee una variedad de normas que permiten establecer la arquitectura básica de un SMA, los métodos de interrelación entre agentes, y un lenguaje de comunicación entre agentes (Agent Communication Language –ACL). Para el caso del Sistema de Control Distribuido Inteligente basado en Agentes (SCDIA), el cual propone el uso del Agente Observación, Agente Controlador, Agente Actuación, Agente Coordinador, y el Agente Especializado (Aguilar y col., 2005), se desarrollo en (Aguilar y col., 2002), un Sistema de Gestión de Servicios (SGS), el cual cumple la función de Middleware, y está conformado por un conjunto de agentes que brindan apoyo al SCDIA. El SGS esta constituido por componentes de software en un ambiente distribuido y heterogéneo, donde cada componente puede actuar como medio para el acceso a determinada aplicación, fuentes de datos, recursos, etc.

### 2.3 Metodología para el desarrollo de sistemas multiagentes

Para el análisis y diseño del sistema multiagentes hemos utilizado la metodología MASINA (Aguilar y col.,

2008), la cuál es una extensión de la metodología de desarrollo MAS-CommonKADS. En la Fig. 1 se muestran los modelos definidos en la metodología de diseño.

- **Modelo de agente:** con el modelo de agente se especifican las características de todos los agentes involucrados en la resolución de un problema.
- **Modelo de tarea:** este modelo permite describir las actividades relacionadas con el agente, a través de las cuales el agente puede proveer los servicios y cumple con sus objetivos.
- **Modelo de inteligencia:** el modelo de inteligencia describe los mecanismos de razonamiento, aprendizaje, y la representación del conocimiento, utilizados por los agentes para cumplir sus objetivos.
- **Modelo de coordinación:** modelo describe los esquemas de coordinación entre los agentes, los mecanismos de comunicación directa e indirecta, los metalenguajes, y las ontologías de comunicación, entre otros. El modelo de coordinación está orientado a servicios, donde un agente puede ofertar la realización de determinadas tareas a otros agentes, denominadas servicios. Un servicio puede tener asociadas determinadas propiedades (coste, duración, etc.)
- **Modelo de comunicación:** en este modelo se describen las interacciones (actos de habla) entre los agentes del SMA

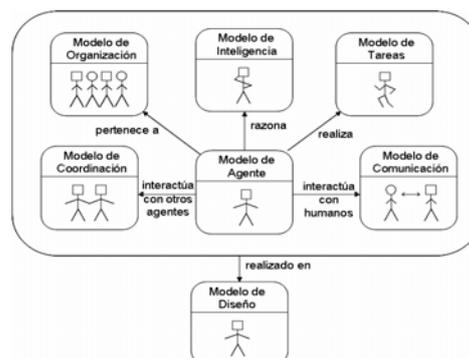


Fig. 1. Modelos de la metodología de diseño

### 3 Modelo de referencia de un SMA para la planificación de la producción y el manejo de los factores de producción

Un sistema de apoyo para la planificación de la producción y manejo de los factores de producción debe generar y ejecutar las secuencias de acciones necesarias para satisfacer los requerimientos de cada servicio contratado. La secuencia de acciones (plan detallado) involucra la asignación de los recursos a lo largo del tiempo, hasta la completa ejecución del plan. Este sistema también debe supervisar la ejecución del plan, y en caso de alguna desviación, debe realizar dinámicamente las modificaciones al plan en ejecución (replanificación).

En la Fig. 2 se propone una descomposición funcional de tres bloques. En el primer bloque se busca toda la información relevante, tanto interna como externa, para caracteri-

zar el sistema. El segundo bloque es el núcleo del sistema, este genera el plan general y el plan detallado, además supervisa la ejecución del mismo y realiza la modificación al plan en caso que sea necesario. El tercer bloque tiene como principal tarea la ejecución del plan detallado. Cada bloque del sistema está compuesto por diferentes módulos que interactúan entre sí, siguiendo una secuencia determinada por las reglas del negocio, según el modelo de referencia que se propone en la Fig. 3.

Este sistema interactúa con el resto de los componentes del negocio (por ejemplo: sistemas de control, Manejo de Fallas, sistemas de inventario, etc.), y demanda acciones sobre el proceso.

### 3.1 Caracterizador del sistema

Este bloque está compuesto por dos módulos: Determinar el estado global, y manejar requerimiento del negocio.

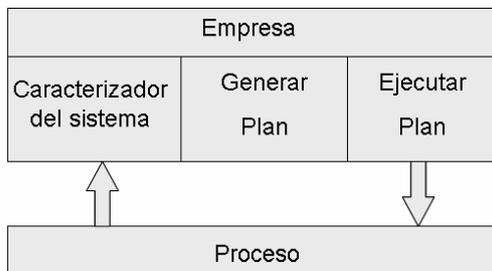


Fig. 2. Diagrama funcional del sistema de planificación y manejo de factores de producción

#### 3.1.1 Determinar el estado global

Se encarga de obtener y procesar toda la información requerida para la elaboración del plan. El estado del entorno se define para cada área del proceso productivo y puede estar compuesto por los estados de las variables internas del proceso y variables externas al mismo. Las variables externas pueden variar como resultado de los cambios ocurridos en el mercado, mientras las variables internas varían debido a cambios en las variables de entrada (calidad, volumen), fallas en los equipos, etc.

En general, las variables de interés utilizadas para determinar el estado global actual para la elaboración del plan general, el plan detallado, y el seguimiento del plan son las siguientes:

- **Demanda actual:** es la cantidad de órdenes de producción recibidas por el objeto de negocio.
- **Demanda estimada:** es la cantidad de órdenes de producción que estima recibir el objeto de negocio. La demanda estimada es proporcional a los cambios que puedan tener o se estima que tengan algunas variables externas al proceso de producción, tales como: ofertas del mercado, niveles de precios del producto en el mercado, niveles de precios de los recursos en el mercado, situación socio-política del es-

tado, situación socio-política a nivel mundial, sobre todo en los clientes y competidores potenciales, entre otros.

- **Estado de las órdenes de producción:** cada orden de producción al ser recibida por el objeto de negocio puede tener diferentes estados. Entre los posibles estados se tienen: aceptada, rechazada, en espera, en ejecución, % de ejecución, completada, etc.
- **Capacidad de producción:** es la mayor cantidad sostenible de producto (productos finales y/o productos intermedios) que puede generar un objeto de negocio.
- **Capacidad de producción comprometida:** es la porción de la capacidad de producción que está actualmente en uso o programada para su uso.
- **Capacidad de producción desatendida:** es la capacidad de producción que no puede ser atendida debido a factores internos, tales como, indisponibilidad de los equipos, planes de producción deficientes, limitación en los recursos, etc.
- **Capacidad de producción disponible:** es la porción de la capacidad de producción que puede ser atendida y no se encuentra comprometida.
- **Indicadores de rendimiento:** permite determinar el desempeño del objeto de negocio (producción actual).
- **Disponibilidad de recursos.**
- **Disponibilidad de productos para la venta y/o uso de otros objetos del negocio.**

#### 3.1.2 Manejar requerimiento del negocio

Los objetos de negocio pueden asumir dentro del proceso productivo el rol de objeto generador de requerimiento (el objeto solicita uno o más servicios a uno o más objetos de negocio), objeto oferente de servicio, o ambos roles. El término requerimiento del negocio se refiere a los servicios prestados o recursos generados por los objetos de negocio.

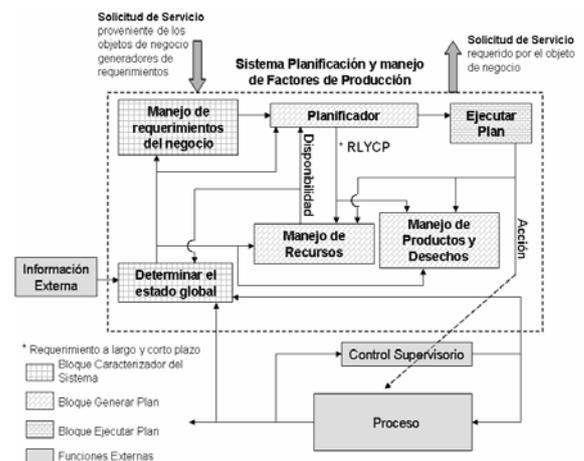


Fig. 3. Modelo de referencia para la planificación y manejo de factores de producción

En caso que el objeto sea generador de requerimientos, el módulo de manejo de requerimientos del negocio debe procesar las órdenes emitidas por el módulo planificador para

la contratación de los servicios requeridos por el objeto de negocio, con el fin de garantizar la completa ejecución de sus funciones y el logro de las metas.

En caso que el objeto sea oferente de algún servicio, el módulo de manejo de requerimientos del negocio debe procesar las órdenes recibidas desde los objetos generadores de requerimientos, con el fin de aceptar o rechazar las solicitudes de servicio, realizar ofertas, y analizar los resultados de la negociación.

### 3.2 Generar plan

- Este bloque está compuesto por tres módulos: planificador, Manejador de recursos, y manejador de productos.

#### 3.2.1 Planificador

Se encarga de la elaboración del plan general y el plan detallado del objeto de negocio a partir de los requerimientos del negocio, modelos del proceso productivo, mecanismos de producción y/o reglas del negocio, métodos de optimización, estado global, predicciones y/o estimaciones, entre otras cosas.

El plan general se refiere a la determinación de las metas de producción del objeto de negocio en función del tiempo (el período de tiempo suele denominarse horizonte de planificación), indicando: que se va a producir, en qué cantidad, quién requiere el producto, y cuándo lo requiere. El plan detallado debe generar la secuencia de actividades que debe ejecutar el objeto de negocio a lo largo del tiempo, con el fin de cumplir con las metas de producción establecidas en el plan general. El plan detallado debe, al menos, establecer:

- Los ajustes (set-point) que deben aplicarse a los diferentes componentes del proceso productivo del objeto de negocio, el cuál es asignado al sistema de control y supervisión para los ajustes correspondientes en el nivel proceso.
- La solicitud, asignación, y mecanismos para la entrega y recepción de recursos.
- El programa detallado para la entrega de productos.
- La especificación del mecanismo o estrategia a ser utilizado en cada una de las tareas de producción.

En este módulo también se supervisa la ejecución del plan, y en caso que sea necesario se realiza las modificaciones al mismo.

#### 3.2.2 Administrador de recursos

Se encarga del control de inventarios de los recursos requeridos para la ejecución del plan, en base al modelo de inventario, plan general y plan detallado. Este módulo realiza la asignación de los recursos dentro del proceso productivo, y puede interactuar con las funciones de procura para realizar la solicitud de recursos y para conocer el estado de las solicitudes.

#### 3.2.3 Administrador de productos y desechos

Se encarga del control de stock de los productos terminados, en base al modelo de inventario de productos, plan general y plan detallado. También debe realizar el manejo de los desechos resultantes durante el proceso productivo. Este módulo puede interactuar con el sistema contable para la facturación de productos terminados y entregados.

### 3.3 Ejecutar plan

Este bloque está compuesto por el módulo ejecutar plan.

#### 3.3.1 Ejecutar plan

Se encarga de la ejecución del plan detallado. El plan detallado se define como una secuencia de acciones de control que serán ejecutadas por este módulo.

### 4 Modelo de referencia para la planificación de la producción y el manejo de los factores de producción basada en SMA

El SMA para la planificación y manejo de los factores de producción, debe tener la capacidad de ejercer principalmente las siguientes actividades:

- Intercambiar información entre los diferentes niveles de la pirámide de automatización ISO/OSI.
- Monitorear y analizar las variables internas (provenientes desde los diferentes niveles) y externas al proceso, con el fin de determinar el estado global para la elaboración del plan o la replanificación del plan existente.
- Elaborar el plan general del objeto de negocio.
- Ejecutar el plan detallado del objeto de negocio.

Ejecutar acciones sobre el plan, y en caso que sea necesario, obtener un nuevo plan de acuerdo al análisis del estado global y contratos recibidos (planificación dinámica).

- Gestionar los recursos asociados al plan.
- Gestionar los productos terminados.

Estimar y predecir las variables y condiciones que puedan impactar al plan, y por ende, el desempeño del objeto de negocio.

#### 4.1 Actores y casos de uso

A partir de las funciones que debe desempeñar el agente de planificación y manejo de factores de producción, y los roles que deben desempeñar cada uno de los bloques descritos anteriormente, identificamos y obtenemos los actores y casos de uso para el problema de Planificación y Manejo de Factores de Producción (ver Tabla 1).

Tabla 1. Actores y casos de uso del sistema de planificación y manejo de factores de producción

Actor	Descripción	Casos de uso
Caracterizador	Recibe el estado de las variables internas y externas al proceso y determina el estado global.	Determinar estado global
Negociador	Emite, recibe y procesa los requerimientos del negocio.	Gestión de requerimientos recibidos Gestión de requerimientos a ser emitidos
Planificador	Elabora el plan general del objeto de negocio tomando en cuenta los requerimientos del negocio, el estado global, las estimaciones y/o predicciones, etc. También puede redefinir el plan general en caso que sea necesario.	Elaborar plan general Supervisar plan general Redefinir plan general Generar solicitud
Programador	Elabora el plan detallado (programación de actividades) del objeto de negocio en base al plan general, los mecanismos de producción o reglas del negocio, los métodos de optimización, el estado global, etc. También puede redefinir el plan detallado, en caso que sea necesario.	Elaborar plan detallado Supervisar plan detallado Redefinir plan detallado
Administrador de Recursos	Se encarga del control de inventarios de los recursos y la gestión para la adquisición y asignación de los mismos dentro del proceso.	Control de inventarios de recursos
Manejador de Productos	Se encarga del manejo, almacenamiento y distribución de los productos terminados	Control de inventarios de productos
Manejador de Desechos	Se encarga del manejo de los desechos de acuerdo a las normas de Seguridad, Higiene y Ambiente.	Manejo de desechos
Predictor	Realiza las estimaciones de las variables requeridas por el planificador y el administrador de recursos	Capacidad de producción Requerimientos por recibir Restricciones Suministro de recursos
Ejecutor	Ejecuta el plan de producción y notifica el estado de ejecución del mismo	Procesar plan detallado Reportar estado del plan

A continuación se describe el caso de uso “Elaborar Plan Detallado” del actor Programador. La descripción del resto de los casos de uso la puede encontrar en (Chacal y col., 2005).

Tabla 2. Caso de uso “Elaborar plan detallado”

<b>Descripción:</b>	El actor programador debe obtener el plan detallado (programación de actividades) para el objeto de negocio asociado en base al plan general, los mecanismos de producción, las reglas del negocio, los métodos de optimización, estado global, entre otros.
<b>Actores:</b>	Programador
<b>Precondición:</b>	Deben estar definidos los mecanismos de producción y/o reglas del negocio. Se debe contar con el estado global proveniente desde el actor caracterizador
<b>Excepción:</b>	No es posible obtener el plan detallado

En las siguientes secciones se describen los diferentes modelos de acuerdo a la metodología de desarrollo MASI-NA, con el fin de obtener las especificaciones y requerimientos del SMA de apoyo a la planificación y manejo de los factores de producción.

#### 4.2 Modelo de agente

Con los actores identificados en la fase de conceptualización (ver sección 3.2.1), se identifican los agentes que dotan al SMA de apoyo a la planificación y manejo de los factores de producción, con las funcionalidades que permitan ejecutar sus actividades. Cada actor identificado en la fase de conceptualización puede ser un agente o puede ser dividido en más de un agente. Así pues, se definen nueve agentes, a los cuales hemos denominado como:

- Agente Caracterizador
- Agente Negociador
- Agente Planificador
- Agente Programador
- Agente Administrador de Recursos
- Agente Manejador de Productos
- Agente Manejador de Desechos
- Agente Ejecutor
- Agente Predictor

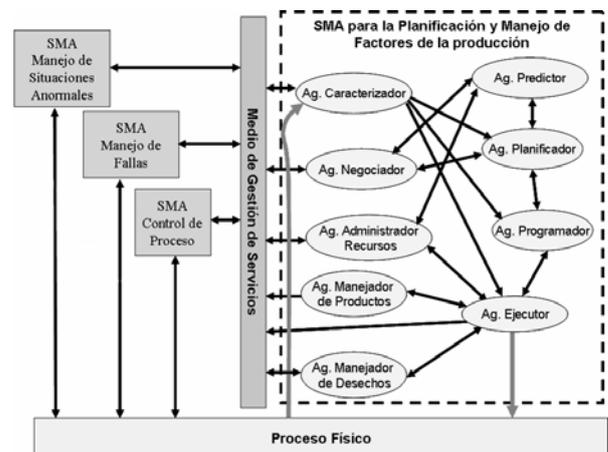


Fig. 4. Modelo de agentes del sistema planificación y manejo de factores de producción

En la Fig. 4. se presenta el esquema del SMA de planificación y manejo de los factores de producción interactuando con el resto de los SMA que ejecutan las actividades de automatización industrial propuestos en (Bravo y col., 2004). Los SMA interactúan entre sí a través del sistema gestor de servicio descrito en (Aguilar y col., 2002). A continuación se presentan las características y requerimientos del Agente Programador. Los detalles del resto de los agentes se encuentran en (Chacal y col., 2005).

Tabla 3. Agente programador

Nombre	Programador
Tipo	Agente Software
Papel	Elaborar plan detallado
Descripción	Elabora el plan detallado (programación de actividades) del objeto de negocio

Tabla 4. Objetivo

Nombre	Elaborar plan detallado de producción
Tipo	Objetivo por tiempo o evento
Parámetro de Entrada	Estado global e información proveniente desde el Ag. Planificador
Parámetro de Salida	Plan detallado de producción
Condición de Activación	Al recibir el plan general
Condición de Finalización	Elaborado el plan detallado de producción
Condición de Éxito	Se ha generado el plan detallado de producción factible
Condición de Fracaso	No es posible generar el plan detallado de producción
Descripción	Elabora el plan detallado (programación de actividades) del objeto de negocio en base al plan general, los mecanismos de producción y/o reglas del negocio, los métodos de optimización, el estado global, etc. También puede redefinir el plan detallado en caso que detecte alguna desviación del mismo

Tabla 5. Servicio

Nombre	Elaborar plan detallado de producción
Tipo	Gratuito, concurrente
Parámetro de Entrada	Estado global e información proveniente desde el Ag. Planificador
Parámetro de Salida	Plan detallado de producción
Lenguaje de representación	Lenguaje natural

4.3 Modelo de tareas

En la (Chacal y col., 2005), se presentan las tareas y subtareas que debe desempeñar cada uno de los agentes del sistema de planificación y manejo de factores de producción para poder prestar sus servicios y cumplir con sus objetivos. En las tablas 6 y 7 se describen algunas tareas del agente programador.

Tabla 6. Tareas del SMA de planificación y manejo de los factores de producción

SMA para la Planificación y Manejo de Factores de Producción		
Agente	Tareas	Subtareas
1. Caracterizador	T1.1 Obtener el estado de las variables internas	T1.3
	T1.2 Obtener el estado de las variables externas	T1.3
	T1.3 Pedir Datos AGD	
	T1.4 Determinar el estado global actual	T1.1, T1.2
	T1.5 Determinar indicadores de gestión del plan general	T1.1, T1.3
2. Negociador	T2.1 Elaborar oferta de negocio	T9.1
	T2.2 Analizar resultado de la negociación	
	T2.3 Elaborar requerimiento de negocio	T8.1
	T2.4 Seleccionar mejor oferente	
3. Planificador	T3.1 Evaluar el estado global	T1.4
	T3.2 Definir solicitud de servicio	T1.3
	T3.3 Obtener plan general de producción	T3.1, T3.2, T9.1, T9.2, T9.3, T9.4
	T3.4 Detectar desviaciones del plan general	T1.4, T1.5
	T3.5 Modificar plan general de producción	T3.4, T3.1, T3.2, T9.1, T9.2, T9.3, T9.4
4. Programador	T4.1 Evaluar estado y disponibilidad de recursos	T1.3
	T4.2 Evaluar estado y disponibilidad de productos	T1.3
	T4.3 Evaluar estado de desechos	T1.3
	T4.4 Evaluar mecanismos de producción	T1.3
	T4.5 Obtener plan detallado de producción	T3.3, T3.5, T4.1, T4.2, T4.3, T4.4
	T4.6 Determinar desviación del plan detallado	T8.2
	T4.7 Ajustar el plan detallado de producción	T3.3, T3.5, T4.1, T4.2, T4.3, T4.4, T4.6
5. Administrador de Recursos	T5.1 Generar solicitud para la adquisición de recurso	T8.1
	T5.2 Generar orden de asignación de recurso	T8.1
	T5.3 Ingresar recurso al sistema	
	T5.4 Control del nivel de inventario de recursos	
6. Manejador de Productos	T6.1 Generar orden para la asignación y despacho de producto	T8.1
	T6.2 Control del inventario de productos	
7. Manejador de Desechos	T7.1 Determinar mecanismo para el manejo de desechos	
	T7.2 Generar orden para el manejo de desechos	T7.1, T8.1
8. Ejecutor	T8.1 Ejecutar acción del plan detallado	T4.5
	T8.2 Determinar el estado y resultados del plan detallado	T1.3, T1.4
9. Predictor	T9.1 Estimar capacidad de producción a futuro	T1.3, T9.2, T9.3, T9.4
	T9.2 Estimar demanda (requerimientos por recibir)	T1.3
	T9.3 Estimar restricciones	T1.3
	T9.4 Estimar fecha de ingreso de recursos	T1.3

Tabla 7. Tarea T4.1

Nombre	Evaluar estado y disponibilidad de recursos
Objetivo	Obtener la disponibilidad y estado de los recursos
Descripción	Determina el estado y la disponibilidad de los recursos asociados al objeto de negocio, necesarios para el proceso productivo. Con esta tarea se debe determinar la cantidad, condición para la operación, ubicación, fecha de disponibilidad, tiempo estimado para operar en forma continua, costo, entre otros.
Precondición	Disponibilidad de la información
Subtareas	Pedir los Datos al Agente de Gestión de Datos (AGD) de la Plataforma (ver Aguilar y col. 2005) para detalles del AGD)

Tabla 8. Tarea T4.5

Nombre	Obtener plan detallado de producción
Objetivo	Obtener el plan detallado (programación de actividades).
Descripción	En esta tarea se evalúa el plan general, y a partir de este se determina la combinación de actividades y tiempo en que deben ser ejecutadas (en el corto plazo), ya sea en forma secuencial o paralela; garantizando alcanzar la meta global. La programación de actividades es un algoritmo detallado que puede ser comparado con una función de control.
Precondición	Disponibilidad de la información.
Subtareas	Obtener plan general de producción, Modificar plan general de producción, Evaluar estado y disponibilidad de recursos, Evaluar estado y disponibilidad de productos, Evaluar estado de desechos, Evaluar mecanismos de producción.

#### 4.4 Modelo de inteligencia

Todos los agentes propuestos del SMA para la planificación y manejo de factores de producción son susceptibles a la inteligencia. A continuación se presenta la estructura general del modelo de inteligencia.

Tabla 9. Experiencia

Representación	Reglas
Tipo:	De acuerdo al caso
Grado de Confiabilidad:	Depende de la integridad de la información
Esquema de procesamiento:	Ajuste de los parámetros del conocimiento e incorporación de nuevos modelos

Tabla 10. Mecanismo de aprendizaje

Tipo:	Adaptativo
Representación:	Técnicas basadas en inteligencia artificial
Fuente de aprendizaje:	Información histórica, estado global
Mecanismo de Actualización:	Realimentación a partir de la experiencia

Tabla 11. Mecanismo de razonamiento

Fuente de Información:	Resultados previos del sistema de planificación y manejo de factores de producción
Fuente de activación:	Intervención, Ocurrencia de eventos, Tareas programadas
Tipo de inferencia:	Basado en reglas
Estrategia de razonamiento:	Puede ser deductivo o inductivo, uso de las técnicas clásicas de inteligencia artificial

#### 4.5 Modelo de coordinación

Con el modelo de coordinación se describe el esquema de comunicación del SMA. Para describir la conversación se utiliza el diagrama de secuencia UML. Para el problema de planificación y manejo de factores de producción se han definido las siguientes conversaciones:

- Diseñar el plan general de producción

- Modificar el plan general de producción por bajo desempeño
- Recibir requerimientos del negocio
- Realizar requerimiento del negocio
- Diseñar el plan detallado
- Modificar el plan detallado
- Asignar recurso al plan general
- Asignar recurso al plan detallado
- Recibir recurso
- Entregar producto
- Eliminar desecho
- Obtener estimados
- Ejecutar acción en entidad externa
- Ejecutar acción en otros sistemas automatizados
- Recibir información desde otros sistemas automatizados

A continuación se presenta la conversación Diseñar el Plan Detallado. El resto de las conversaciones se describen en (Chacal y col., 2005).

Tabla 12. Conversación: diseñar el plan detallado

Objetivo	Diseñar el plan detallado (la estrategia) que asegure cumplir con las metas del plan general de producción
Agentes	Planificador, Programador, Ejecutor, Gestión de Datos (SGS)
Iniciador	Planificador
Actos de Habla	Nuevo Plan general de producción, Solicitar estado global, Pedir datos AGD, Nuevo plan detallado, Registrar plan detallado
Precondición	Existe un nuevo plan general de producción
Condición de Terminación	Se ha generado el plan detallado (programación de actividades) en base al plan general de producción
Descripción	Obtiene la combinación, secuencias, y tiempo en la que se deben ejecutar las actividades que aseguren alcanzar la meta del nuevo plan general de producción

Tabla 13. Esquema de coordinación de la conversación

Objetivo	Coordinar las interacciones entre los agentes involucrados
Tipo:	Predefinido
Coordinación por Defecto:	Centralizado, utilizando el pase de mensajes entre agentes

Tabla 14. Mecanismo de comunicación de la conversación

Tipo	Directa
Técnica	Pase de Mensaje
Metalenguaje	KQML
Ontología	Relacionada con la planificación y manejo de los factores de producción

#### 4.6 Modelo de comunicaciones

El modelo de comunicación de MASINA describe las interacciones en las conversaciones. Cada interacción entre dos agentes se realiza mediante el envío de mensajes, y tiene asociado un acto de habla. A continuación se define un acto de habla de la conversación diseñar el plan detallado.

El resto podrá ser consultado en (Chacal y col. 2005).

Tabla 15. Acto de habla: nuevo plan general de producción

<b>Nombre:</b>	<b>Nuevo plan general de producción</b>
Tipo:	Orden de ejecución
Objetivo:	Entregar al agente programador el plan general de producción
Agentes:	Planificador – Programador
Iniciador:	Planificador

Precondición	Se tiene un nuevo plan general de producción
Condición de terminación:	Plan general entregado
Conversaciones:	Diseño del plan general de producción, Diseño del plan detallado

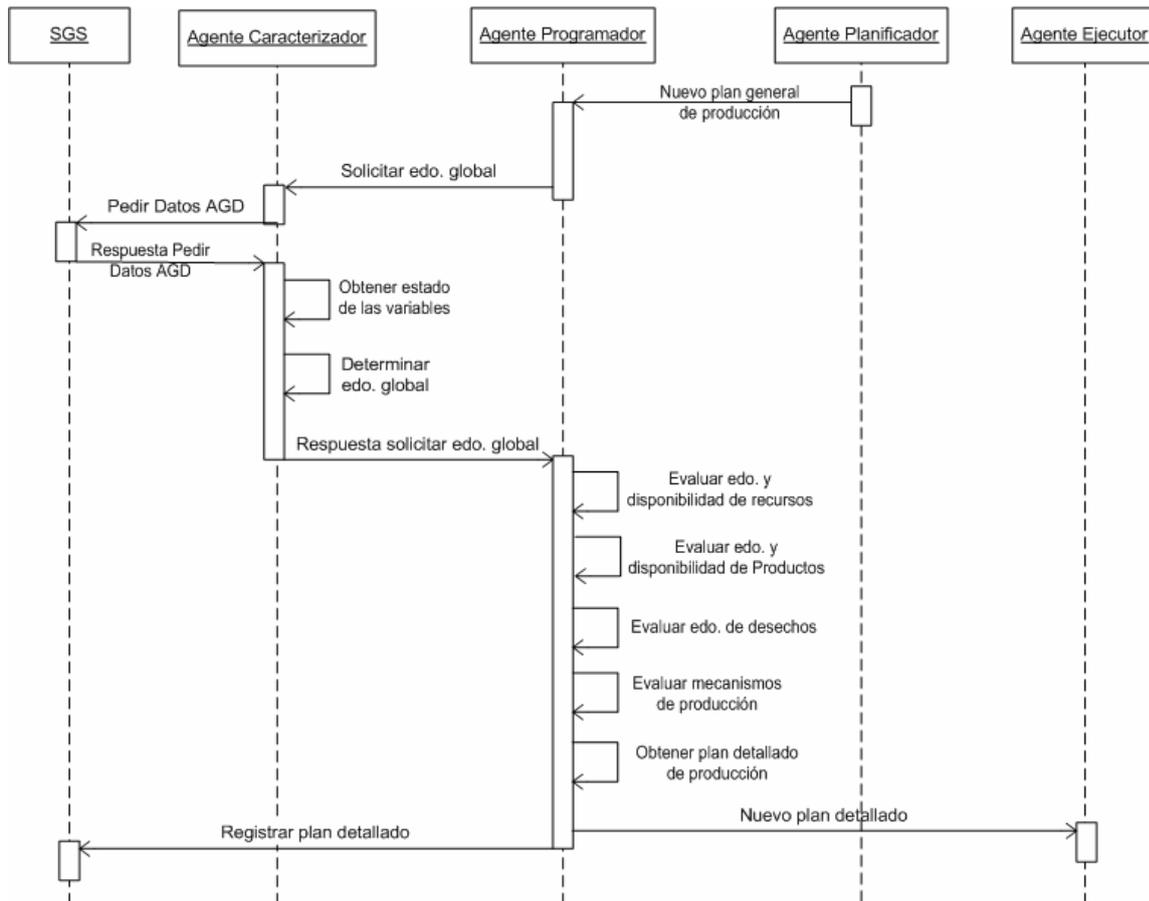


Fig. 5. Diagrama de secuencia UML de la conversación: diseñar el plan detallado

### 5 Conclusiones

Este trabajo ha presentado una propuesta de un modelo de referencia que abarca las funciones más generales que debe desempeñar un sistema que brinde apoyo a la planificación de la producción y del manejo de los factores de producción, basado principalmente en el estándar ANSI/ISA-S.95.00.01-2000. En base al modelo de referencia, se ha propuesto un modelo para un sistema de apoyo a la planificación de la producción y del manejo de los factores de producción basado en SMA, y el mismo ha sido especificado utilizando la metodología MASINA.

El SMA propuesto plasma todas las tareas contempladas en la planificación y en el manejo de los factores de producción de un objeto de negocio, y hereda además, las propiedades que caracterizan a los agentes, tales como: autonomía, movilidad, inteligencia, comunicación, distribución, reactividad, proactividad, entre otros. Con este sistema se completa el diseño de los agentes propuestos en el segundo nivel de abstracción del modelo de referencia SADI (Sistema Automático Distribuido Inteligente basado en Agentes).

El modelo propuesto puede ser implementado para apoyar las tareas de planificación de la producción y de manejo de los factores de producción de los procesos de pro-

ducción continuos, continuos por lotes y discretos, distribuyendo las tareas y objetivos en los diferentes agentes del modelo. Esto, combinado con las propiedades que caracterizan a los agentes, se convierten en las principales ventajas que presentan la propuesta de este trabajo. Así, el SMA propuesto es un modelo distribuido, y no existe un sistema supervisorio centralizado. Por otro lado, el SMA propuesto puede tener comportamientos emergentes, derivados de los requerimientos del entorno a los cuales debe ajustarse. El comportamiento emergente es un tema actual de investigación en el área de SMA.

### Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por el FONACIT bajo el proyecto 2005000170, y por el CDCHT-ULA a través del proyecto I-820-05-02-AA, instituciones a las cuales se les extiende nuestro agradecimiento.

### Referencias

- Aguilar J, Cerrada M, Hidrobo F, Mousalli G y Rivas F, 2001, Application of the Agent Reference Model for Intelligent Distributed Control System, in: N. Mastorakis and L. Pecorelli-Peres (Eds.), "Advances in System Sciences: Measurements, Circuits and Control", p.p. 204-210.
- Aguilar J, Cerrada M, Hidrobo F, Mousalli G y Rivas F, 2005, A Multiagent Model for Intelligent Distributed Control Systems, Lecture Notes in Artificial Intelligence, Springer-Verlag, Vol. 3681, pp. 191-197.
- Aguilar J, Cerrada M, Hidrobo F, Rivas F y Zayas W, 2006, Development of a Code Generation System for Control Agents, WSEA Transactions on Computers, Vol. 5, No. 10, pp. 2406-2411, Octubre 2006.
- Aguilar J, Hidrobo F y Cerrada M, 2007, A Methodology to Specify Multiagent Systems, Lecture Notes in Artificial Intelligence, Springer-Verlag, Vol. 4496, pp. 92-101.
- Aguilar J, Besembel I, Cerrada M, Hidrobo F y Narciso F, 2008, Una Metodología para el Modelado de Sistemas de Ingeniería Orientado a Agentes, Revista Iberoamericana de Inteligencia Artificial, AEPIA, Vol. 12, pp. 39-60.
- Aguilar J, Mousalli G, Bravo V y Diaz H, 2002, Agentes de control y de gestión de servicio para el modelo de referencia SCDA, Proceedings of the II Simposio Internacional de Automatización y Nuevas Tecnologías, TECNO 2002, pp. 45-50, Mérida, Venezuela.
- Aguilar J, Prato F, Bravo C, Rivas F, 2009, A Multi-agent System for the Management of Abnormal Situations in an Artificially Gas-lifted Well, Applied Artificial Intelligence, Taylor and Francis, Vol. 23, No. 5, pp. 406-426.
- ANSI/ISA-95.00.01-2000. Enterprise Control System Integration. Part 1: Models and Terminology.
- Bravo C, Aguilar J y Rivas F, 2004. Diseño de una Arquitectura de Automatización Industrial basada en SMA, Revista Ciencia e Ingeniería, Universidad de Los Andes, Vol. 25, No. 2, pp. 75-88.
- Cerrada C, Aguilar J, Faneite R y Cardillo J, 2007, Agents-Based design for fault management systems in industrial processes, Computer in Industry, Vol. 58, pp. 313-328.
- Chacal J, Aguilar J, Bravo C, Rivas F, 2005, Planificación y Manejo de los Factores de Producción basado en Sistemas Multiagentes. Reporte Técnico 2004-10, CEMISID, Universidad de Los Andes, Mérida-Venezuela.
- Harkins B, Middleton E, Mushin D, 1999. Linking the plan floor to the enterprise: benefits and pitfalls, Hydrocarbon Processing, pp. 49-54.
- Weiss G, 1999, Multiagent Systems. The MIT Press. Massachusetts, USA.
- Wooldridge M, and Jennings N, 1995. Intelligent Agents: Theory and Practice. Knowledge Engineering Review, Vol. 10, No. 2, pp. 115-152.

