

Sistema Multiagente para la Planificación de la Producción en Automatización

Francis Martínez*. José Aguilar **
César Bravo***

* Universidad de los Andes, Facultad de Ingeniería, Postgrado en Computación, Mérida 5101, Venezuela (Tel: 0274-2402811; e-mail: francismartinez@gmail.com).

** Universidad de los Andes, Facultad de Ingeniería, Cemisid, Mérida 5101, Venezuela (e-mail: aguilar@ula.ve)

***DST PDVS, Mérida 5101, Venezuela, (e-mail: bravocn@pdvsa.com)}

Resumen: Los Sistemas Multiagentes (SMA) constituyen un paradigma computacional en el cual que varios agentes semi-autónomos interactúan entre sí, ya sea para solucionar un problema, o conseguir una serie de objetivos individuales o colectivos. Por otra parte, la planificación de la producción representa una actividad clave en el desempeño de la industria, por lo que se hace evidente la necesidad de tener aplicaciones que brinden el apoyo en el desarrollo de estas actividades, que permitan alcanzar las metas de producción con el máximo beneficio posible. La propuesta de ésta investigación es utilizar los SMA para dar solución al problema de la Planificación de la Producción en Automatización. Presentando una aplicación de nuestra propuesta en un proceso de producción de petróleo mediante levantamiento artificial por gas.

1. INTRODUCTION

Las plataformas de automatización son altamente complejas y tienen una gran cantidad de componentes que deben interactuar. Por ello han surgido nuevos enfoques orientados al uso de SMA en tareas de automatización tales como de control, planificación y gestión de la empresa (Aguilar et al., 2004a), (Durfee Edmund, 1999).

Los SMA nacen como parte de una nueva área de la Inteligencia Artificial, llamada Inteligencia Artificial Distribuida (IAD). Los SMA se conciben como sistemas computacionales en los cuales varios agentes semi-autónomos interactúan entre sí, ya sea para colaborar en la solución de un problema, o en la consecución de una serie de objetivos individuales o colectivos (Lemaître et al., 1995). Estos agentes pueden ser homogéneos o heterogéneos, y pueden tener metas comunes o no, pero siempre involucrarán algún grado de comunicación entre ellos. Las principales características que se atribuyen a los agentes son (Lemaître et al., 1995): autonomía, movilidad, racionalidad, reactividad, sociabilidad y proactividad.

Algunos trabajos de SMA aplicados a automatización, bases de nuestra propuesta, son los siguientes: en (Aguilar et al., 2005) proponen un modelo de referencia para el desarrollo de sistemas de control distribuido inteligente basado en agentes (SCDIA), utilizando un conjunto de agentes para distribuir las funciones de control y supervisión. Partiendo de la propuesta anterior, en (Aguilar et al., 2004b) se plantea un Sistema de Gestión de Servicios (SGS) para el SCDIA, y en (Aguilar et al., 2004a) se hace una extensión del modelo

mediante la definición de una arquitectura de automatización utilizando SMA. En esta arquitectura se propone un modelo con tres niveles de abstracción, donde el primer nivel lo conforman los agentes que representan los componentes de la unidad de producción; en el segundo nivel se propone un conjunto de agentes capaces de desempeñar todas las actividades relacionadas con la automatización industrial (“Sistema Automatizado Distribuido Inteligente basado en Agentes - SADIA”), y en el tercer nivel se propone el uso del SCDIA. En (Aguilar et al., 2007a) se propone un modelo del SMA para el Manejo de Fallas. En (Aguilar et al., 2006a) se diseñó e implantó un generador de código para la comunidad de agentes del SCDIA; luego, en (Aguilar et al., 2006b) se desarrolló un prototipo del SMA para el Manejo de Situaciones Anormales usando dicha plataforma. Finalmente, en (Aguilar et al., 2007b) se propuso el SMA para Planificación y Manejo de los Factores de Producción, modelo en el cual se basará el presente trabajo. Todos estos últimos sistemas corresponden a los agentes que conforman la comunidad de agentes del segundo nivel de abstracción del modelo SADIA.

Otro trabajo muy parecido es PABADIS¹ (Durfee Edmund, 1999), una propuesta para procesos de manufactura, que se enfoca en lograr la flexibilidad y la descentralización de la automatización. Propone disolver la capa MES², y dividir su funcionalidad en una parte

¹ Plant Automation Based On Distributed Systems o Automatización de Planta Basado en Sistemas Distribuidos.

² Manufacturing Execution Systems o Sistemas de Ejecución de Manufactura.

centralizada que se pueda unir al sistema ERP³, y otra parte descentralizada que se puede poner en ejecución en una comunidad de agentes parcialmente móviles de software. Desde el punto de vista funcional PABADIS propone tres tipos de agentes: Agentes Residenciales (RA): son la interfaz entre CMUs (Unidades de Manufactura Cooperativas) y la comunidad de agentes. Su tarea es proveer información sobre las capacidades de CMU y permitir a otros agentes acceder a los respectivos recursos. Agente Producto (PA): controla el proceso de manufactura desde el punto de vista del producto, y vigila la planificación y ubicación de los recursos. Agente Administrador de Planta (PMA): organiza el proceso de manufactura desde el punto de vista del sistema.

La propuesta de esta investigación es utilizar la teoría de agentes con la intención de hacer uso de las principales características que presentan estos, para dar solución al problema de la Planificación de la Producción basado en el modelo planteado en (Aguilar et al., 2007b). Además, se presenta una aplicación de nuestra propuesta en un proceso de producción de petróleo mediante levantamiento artificial por gas.

2. CONCEPTOS RELACIONADOS

2.1 Planificación

Planificar según Botti, es el proceso de seleccionar y secuenciar las actividades cuya ejecución consigue uno o más objetivos, y a la vez satisfacen un conjunto de restricciones del dominio (Botti et al., 2002). Estas asignaciones deben satisfacer un conjunto de reglas o restricciones que reflejan las acciones entre las actividades y limitaciones de disponibilidad de un conjunto de recursos compartidos (Botti et al., 2002). La planificación es un proceso sistemático en el que primero se identifica una necesidad, y en función de ésta, se desarrolla la mejor manera de enfrentarse a ella dentro de un marco estratégico que permite identificar las prioridades y determina los principios funcionales (reglas del negocio).

Los sistemas de planificación industrial se componen de tres niveles jerárquicos: estratégico, táctico y operacional.

En los niveles operacionales se ejecutan las lógicas de control y el secuenciamiento de la producción necesarios para cumplir con las metas establecidas, en los niveles tácticos persigue minimizar los costos asociados con la producción y la distribución de productos, bajo una serie de restricciones como, capacidad disponible, inventario, personal, financieras; y en el nivel estratégico se encuentra la toma de decisiones gerencial, y se realiza la planificación a largo plazo, que persigue cumplir con las metas estratégicas de la empresa.

Los sistemas de planificación industrial clásicos son:

- La Planificación de Requerimiento de Materiales (MRP I)⁴
- La Planificación de los Recursos de Manufactura (MRP II)⁵

³ Enterprise Resource Planning o Planificación de los Recursos de la Empresa

⁴ Material Requirements Planning o Planificación de los Requerimientos de Material.

- La Planificación de la Distribución de Recursos (DRP)⁶
- La Planificación de los Recursos de la Empresa (ERP)⁷
- Los Sistemas Avanzados de Planificación (APS)⁸

2.2 Agentes

Los agentes son entidades destinadas a resolver problemas específicos, con características e interfaces bien definidas, situados en un ambiente particular sobre el cual tienen control y observación parcial del mismo. Un SMA es una comunidad de agentes, que interactúan entre sí, ya sea para colaborar en la solución de un problema, o en la consecución de objetivos colectivos.

2.3 Planificación Multiagente

Asumiendo que se tiene una descripción del estado inicial, un conjunto de metas u objetivos a alcanzar, un conjunto de agentes, y cada agente tiene sus capacidades y metas claramente identificadas, la planificación multiagente consiste entonces en encontrar un plan para cada agente que le permita alcanzar sus propias metas, así como también los planes que en conjunto deba realizar el SMA, para alcanzar las metas comunes.

Ferber, (Van et al., 1999) propone que la planificación puede verse, en un entorno multiagente como tres pasos interrelacionados: pensar el plan, distribuir y coordinar las distintas acciones del plan, y ejecutar las acciones. Si el primer paso lo realiza un agente, se habla de planificación centralizada, si cada agente construye su propio subplan, entonces se habla de planificación distribuida. Si existe un agente que coordina los distintos subplanes, se habla de coordinación centralizada de planes parciales. Así, se distinguen tres casos (Van et al., 1999): Planificación centralizada para múltiples agentes, Coordinación centralizada de planes parciales y Planificación distribuida.

(Durfée Edmund, 1988), por su parte, sostiene que los agentes pueden participar en la creación de un plan distribuido, actuar tras un plan distribuido, o participar de las dos maneras. De acuerdo a la participación de los agentes, (Durfée Edmund, 1988) propone las técnicas para la planificación distribuida: Planificación Centralizada para Planes Distribuidos, Planificación Distribuida para Planes Centralizados, Planificación Centralizada para Planes Distribuidos.

3. PLANIFICACIÓN DE LA PRODUCCION EN PETRÓLEO

La planificación del negocio petrolero sigue una estructura jerárquica de varios niveles, donde el nivel superior lo ocupa

⁵ Manufacturing Resources Planning o Planificación de los Recursos de Fabricación.

⁶ Distribution Resources Planning o Planificación de la Distribución de los Recursos.

⁷ Enterprise Resource Planning o Planificación de los Recursos de la Empresa.

⁸ Advanced Planning and Scheduling.

la planificación estratégica, la cual considera horizontes de planificación a largo plazo (en el orden de años) y la construcción de planes generales donde se especifican actividades macro, y los niveles inferiores se corresponden a la construcción de planes tácticos y operacionales, donde se utilizan horizontes de planificación más cortos y la programación de las actividades es más específica y detallada.

La planificación en la empresa petrolera se inicia con el establecimiento de las metas globales de producción y la construcción de los planes para cada región. Esta etapa corresponde a la definición de los planes estratégicos, que posteriormente se traducen en la empresa como macroproyectos corporativos, donde se consideran como premisas las líneas estratégicas de la empresa, las cuotas establecidas, los indicadores económicos, entre otros. Luego de esto se procede a la distribución de estas metas a nivel de los distritos de producción, es decir, se identifican los planes para cada distrito (sub-proyectos), colocando en esta fase las metas de producción correspondiente a las unidades de producción, tomando en consideración los indicadores históricos, factores de mercado, políticas económicas, y las simulaciones de los yacimientos. Este nivel corresponde a la planificación táctica.

Finalmente, a nivel de las unidades de explotación (UE) se establece la planificación operacional, es decir, se definen los planes de explotación de los yacimientos o campos, y las actividades operacionales que se llevarán a cabo para cumplir con las metas establecidas.

4. MODELO DE PLANIFICACIÓN PROPUESTO

El plan global del negocio en una organización con una estructura jerárquica, puede descomponerse en varios planes, tal como se describió en la sección anterior para el caso de la industria petrolera. Una propuesta para la descomposición de estos planes fue presentada en (Durfee Edmund, 1988), donde la descomposición se inicia con el plan global de la empresa, y finaliza con el plan detallado de los objetos de negocio (ver Figura 1). Ese trabajo también propuso modelar el proceso productivo como un SMA, donde las diversas unidades de producción son modeladas como agentes. Sin embargo, esto representa una dificultad para la implantación de dicho modelo, ya que las instalaciones de producción son numerosas, y modelarlas cada una como un agente agrega mucha complejidad al sistema (para el caso de la industria petrolera, si hablamos de 300 pozos por UE, tendríamos 300 agentes pozos).

Por otro lado, en (Aguilar et al., 2007b) se propuso que los agentes de cada nivel negociasen entre sí para llegar a acuerdos que permitan cumplir con las metas de producción establecidas; dichos acuerdos representan la lógica del negocio que rige el proceso productivo. Ahora bien, en el caso de la industria petrolera, al revisar las diferentes etapas del plan de negocio nos es posible notar que no en todos los niveles ocurre tal negociación, por ejemplo la asignación de recursos a las UE para cumplir con las metas establecidas ocurren en el nivel superior. En virtud de lo anteriormente, se propone una nueva descomposición del plan de negocio

comenzando con el plan global de la empresa hasta llegar al plan del lazo de producción (en el caso de la industria petrolera, dicho lazo de producción está conformado por una Estación de Flujo (EF) con sus respectivas instalaciones asociadas (pozos, Múltiples de Levantamiento Artificial por Gas (MLAG), plantas compresoras, patio de tanques, entre otros), tal y como se muestra en la Figura 2. De esta manera, lo que se propone es realizar una modificación a la última fase de construcción del plan global del negocio, tal que ahora se realiza el plan de negocio para el grupo de elementos del lazo de producción como un todo, y no individualmente para cada objeto de negocio (además, este plan lo realizarían los agentes del nivel superior).



Fig. 1. Esquema General del Proceso de Planificación en Petróleo

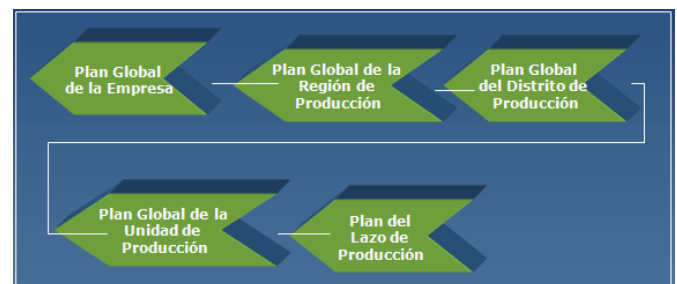


Fig. 2. Esquema General del Proceso de Planificación en Petróleo

En este trabajo se propone un modelo funcional para el proceso de planificación de la producción conformado por dos bloques, como se muestra en la Figura 3; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.** El primer bloque corresponde al manejo y gestión de los requerimientos, recursos y productos vinculados al proceso de planificación. El segundo bloque es el núcleo del sistema, responsable de llevar a cabo el proceso de planificación. Cada bloque está conformado por varios módulos, donde cada uno de ellos es responsable de realizar tareas específicas dentro del proceso de planificación.



Fig. 3. Módulos que Componen el Modelo Propuesto para el Proceso de Planificación de la Producción

Bloque de Gestión: conformado por tres módulos, para gestionar toda la información requerida por el proceso de planificación:

Administrador de requerimientos: debe procesar las órdenes recibidas desde los entes externos generadores de requerimientos, con el fin de evaluar las solicitudes realizadas, a fin de aceptarlas para procesarlas, o rechazarlas.

Administrador de recursos: se encarga del control de inventarios de los recursos disponibles y requeridos para la ejecución del plan, en base al modelo de inventario y al plan de producción. Este módulo realiza la asignación de recursos dentro del proceso productivo.

Administrador de productos: se encarga del control de los productos terminados. 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.

Bloque de Planificación: conformado por cuatro módulos:

Identificador de Escenario: encargado de analizar y procesar toda la información referente al escenario⁹ actual de producción. 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 al proceso productivo, fallas en los equipos, fluctuación en el suministro de materia prima y energía, etc.

Planificador: este módulo se encarga de la elaboración del plan de producción a partir de las metas de producción establecidas, los modelos del proceso productivo, los mecanismos de producción y reglas del negocio, los métodos de optimización, el escenario actual, y las predicciones y/o estimaciones del mercado. El plan deberá establecer: La cantidad de producto que se deberá producir, y sus lapsos de entrega; Los recursos requeridos para cumplir con las metas de producción; La planificación de las actividades de producción y mantenimiento; La especificación de la estrategia a ser utilizada para la ejecución del plan.

Así mismo, este módulo también elabora la programación de actividades. Una vez establecido el plan de producción, el mismo se debe operacionalizar. Así, la programación de actividades deberá establecer: La secuencia de actividades de producción por cada unidad componente del proceso productivo; Los puntos de ajustes (set point) y las estrategias de control de procesos que deben aplicarse a los diferentes componentes del proceso productivo; La solicitud, asignación y mecanismos para la entrega y recepción de recursos; La

programación de paros de unidades y de actividades de mantenimiento.

Analizador de riesgos: estudia la probabilidad de que los resultados previstos se produzcan, o bien, determina los valores esperados de los indicadores económicos a partir de la producción actual. Se incluye también en este módulo el análisis de sensibilidad, el cuál consiste en determinar variaciones en los indicadores económicos al modificar alguna de las siguientes variables: precios, volúmenes, inversión, costos de operación, etc.

Monitor de la ejecución: una vez determinado el plan de producción y la programación de actividades, se procede a su ejecución. Durante este tiempo es necesario contar con un módulo encargado de monitorear el desempeño del plan, a fin de poder detectar posibles desviaciones que se produzcan, y alertar a tiempo al módulo encargado de realizar los ajustes pertinentes y de replanificar, si fuese necesario.

4.1 Arquitectura del Modelo Multiagente para la Planificación de la Producción

A partir de las funciones que debe desempeñar el sistema de planificación de la producción, y en concordancia con cada uno de los módulos descritos anteriormente, podemos identificar los agentes que componen el modelo propuesto para la planificación de la producción. Dichos agentes son los responsables de interactuar y ejecutar la secuencia de acciones determinadas por las reglas del negocio que rigen el proceso productivo, a fin de llevar a cabo la planificación de la producción. En esta arquitectura se proponen los siguientes agentes:

Agente administrador de requerimientos (AAR¹): responsable de recibir los requerimientos generados por los clientes, para analizarlos y determinar si pueden ser atendidos. Además, este agente define los objetivos o metas de producción a alcanzar para satisfacer dichos requerimientos.

Agente administrador de productos (AAP): su función principal es la administración y gestión del producto disponible y generado como resultado del proceso productivo. Es responsable de controlar el inventario, validar que los productos generados cumplan con las especificaciones de calidad, y del manejo y despacho de los productos.

Agente administrador de recursos (AAR²): encargado de la administración de los recursos disponibles y necesarios para llevar a cabo la ejecución de los planes.

Agente planificador (AP): este agente, en función de las metas u objetivos establecidos por el agente administrador de requerimientos, es responsable de la construcción del plan, es decir, identifica las macro-tareas a realizar para alcanzar dichas metas, esta fase corresponde a la planificación de las actividades. Por otra parte, este agente también es responsable de programar la realización de las actividades identificadas como parte del plan, y de detallarlas más si fuese necesario. El agente planificador solicita al agente administrador de recursos la asignación de los recursos requeridos en cada tarea, de forma de garantizar una exitosa

⁹ Escenario: está formado por un conjunto de variables que determinan la situación actual del mercado y del proceso productivo, y representa una base de apoyo a las premisas de planificación

consecución del plan. En algunos casos, dependiendo del nivel donde este trabajando este agente, deben realizar sólo tareas de planificación (ejemplo en los niveles de toma de decisiones) o de programación (ejemplo en los niveles operacionales). Este agente también tiene como función identificar la estrategia a seguir para mitigar los riesgos asociados al plan, identificados por el agente analizador de riesgos, y es responsable de realizar ajustes al plan en caso de ser necesario.

Agente identificador de escenario (AIE): este agente caracteriza en cual escenario se encuentra el proceso productivo, en función de su estado actual, las metas y restricciones existentes, etc. La información generada por este agente es utilizada como insumo por el agente planificador para la construcción del plan.

Agente analizador de riesgos (AAR³): es responsable de identificar los riesgos asociados al plan, analizar sus relaciones y posibles consecuencias. Para lograr su objetivo, este agente realizará cambios en variables claves del proceso con el fin de identificar si el plan se ve muy afectado por dichos cambios, y de esta manera reconocer las posibles consecuencias que esto originaría en el plan (es decir, hace un análisis de sensibilidad). Finalmente, deberá informar al agente planificador para que defina la estrategia de mitigación de riesgos.

Agente monitor de la ejecución (AME): actúa como observador de la ejecución del plan. Su función es observar el estado del proceso (definido a partir de la información en tiempo real e información histórica), validar que los recursos se están asignando de manera oportuna, y que las tareas se están ejecutando según lo planificado. Este agente debe informar al agente administrador de requerimientos el estado de la ejecución del plan.

Con la arquitectura que aquí se propone, lo que se busca es proporcionar un modelo funcional de planificación de la producción basado en agentes, que pueda ser utilizado para apoyar las labores de planificación en cada uno de los niveles presentes dentro de la empresa. Cada nivel del proceso de planificación estará diferenciado por: el horizonte de planificación considerado, el nivel de detalle de la información utilizada, los requerimientos y metas establecidas, las premisas y los parámetros considerados, la naturaleza de las tareas planificadas, el tipo de riesgos y estrategias utilizadas, entre otros, pero haciendo uso en cada nivel del mismo esquema multiagente de planificación.

4.2 Diagrama de Actividad del SMA para la Planificación de la Producción

A continuación se muestra un diagrama de actividad que ilustra el flujo básico general a realizar por el SMA durante la construcción, ejecución y monitoreo del plan de producción. El color asignado en el diagrama a cada actividad permite identificar el agente responsable de su realización (Figura 4).



Fig. 4. Diagrama de Actividad - Flujo Básico Proceso de Planificación

En el diagrama se puede observar que el flujo se inicia con la recepción de un nuevo requerimiento por parte del AAR¹, en este caso asumiremos que el requerimiento corresponde a una solicitud de determinada cantidad de producto con ciertas especificaciones. El AAR¹ analiza el requerimiento recibido y determina si puede ser atendido, es decir, evalúa que el requerimiento se encuentre dentro de los parámetros y especificaciones que pueden ser atendidas por el sistema de producción. Si el requerimiento puede satisfacerse, el AAP valida la cantidad de producto disponible, si existe producto suficiente se notifica al módulo correspondiente para que inicie las actividades de despacho del producto. En caso contrario, el AAR² valida la capacidad real de producción del sistema, es decir calcula la capacidad nominal menos la capacidad comprometida para determinar si puede atenderse la demanda en el tiempo establecido. Si no puede atenderse la demanda este agente se encarga de informar la capacidad real de producción. En caso contrario, informa al AAR¹, quien define las nuevas metas de producción y notifica al AIE para que realice la categorización del escenario actual en función de las metas actualizadas, las condiciones de operación, y las restricciones existentes. El escenario aquí definido creará el insumo para el AP, quien deberá construir el plan, es decir, definir las macro-tareas, así como programar su ejecución en el tiempo, detallarlas mas si fuese necesario, y asignarle los recursos necesarios con el fin de alcanzar las metas. Luego que el plan es construido, el AAR³ identifica los riesgos asociados al plan e identifica sus posibles consecuencias. Esta información es utilizada por el AP para definir las estrategias necesarias para mitigar los riesgos. Finalmente, el plan es ejecutado y el AME se encarga de observar dicha ejecución. De producirse una desviación significativa, la notifica al agente administrador de requerimientos para que realice una replanificación en las actividades que sea necesario.

5. CASO DE ESTUDIO: PROCESO DE PRODUCCIÓN PETROLERA POR LEVANTAMIENTO ARTIFICIAL POR GAS (LAG)

El proceso de producción petrolera requiere un conjunto de instalaciones que permitan la extracción, tratamiento, distribución y transporte de hidrocarburos. El lazo de producción petrolera se centra en la Unidad de Explotación de Yacimientos (UEY), y sus componentes principales son pozos, estaciones de flujo, patios de tanques, plantas compresoras de gas y múltiples.

Existen diversos métodos de producción de hidrocarburos, clasificados según los mecanismos utilizados para llevar los hidrocarburos desde el yacimiento hasta la superficie. Según el método utilizado, la explotación puede ser clasificada en primaria (métodos en los cuales la presión adicional es introducida en el pozo, sin afectar al yacimiento), secundaria (en donde se inyectan fluidos al yacimiento para desplazar los hidrocarburos hacia el pozo) y mejorada (en los cuales se cambian las condiciones físico-químicas en el yacimiento para favorecer el desplazamiento del fluido hasta la superficie). Entre los métodos primarios se encuentran el flujo natural, el levantamiento artificial por gas (LAG), el bombeo mecánico, el bombeo electrosumergible (BES), entre otros.

Este caso de estudio se concentrará en el método LAG, el cual consiste en inyectar gas a una determinada presión en varios puntos de la tubería de producción, a diferentes profundidades, de forma tal de que al mezclarse con el crudo se eleve la presión del fluido, se disminuya la viscosidad, y se ayude al fluido a desplazarse a la superficie. A continuación se describen las instalaciones necesarias en una UEY para explotar petróleo mediante LAG:

Pozo (PZ): tiene la función de extraer los hidrocarburos desde el yacimiento hasta la superficie.

Estaciones de Flujo (EF): la estación de flujo y recolección de la producción de los pozos la componen un grupo de instalaciones que facilitan el recibo, la separación, la medición, el tratamiento, el almacenamiento y el despacho del petróleo (García E., 2001).

Plantas compresoras de gas (PC): en estas plantas se recibe el gas de las estaciones de flujo y se procede a comprimirlo para aumentar su presión para múltiples usos.

Múltiples de Levantamiento Artificial por Gas (MLAG): en estas instalaciones se recibe el gas proveniente de las plantas compresoras y es distribuido a cada uno de los pozos que requieran inyección de gas.

Patios de Tanques (PTQ): almacenan el fluido proveniente de las estaciones de flujo y se le aplica tratamientos físico-químicos para la separación del petróleo, agua, y sustancias indeseables en el crudo (azufre, sal, etc.).

A continuación se presenta el modelo multiagente propuesto, instanciado específicamente para la planificación de la producción a nivel del lazo de producción de petróleo de pozos LAG (Figura 5).

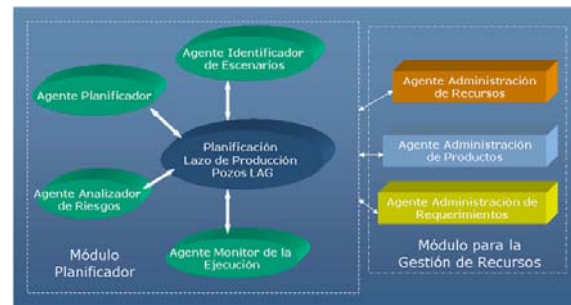


Fig. 5. SMA para la Planificación de la Producción en un Lazo de Producción de Pozos-LAG

A continuación se describe el comportamiento de cada uno de los agentes que conforman el sistema de planificación de la producción para el caso de estudio:

Agente Administrador de Requerimientos (AAR¹): encargado de recibir los requerimientos. En este caso corresponde a la meta de producción establecida por la UE para el lazo de producción en un horizonte de tiempo determinado. Estos requerimientos son fijados en niveles superiores, para el caso de estudio este agente deberá validar que las especificaciones del producto solicitado como meta de producción se corresponda con las características del producto generado por el lazo. Si el requerimiento puede ser atendido deberá informarlo al agente administrador de productos, en caso contrario deberá informar que el requerimiento no podrá ser procesado. Igualmente, este agente tiene como tarea definir las metas de producción diarias que permitan cumplir con el requerimiento recibido, y pasar dicha información al agente identificador de escenarios.

Agente Administrador de Productos (AAP): este agente, en función de la información proveniente de patio de tanques en relación a la cantidad actual de producto disponible, determina si puede satisfacer el requerimiento. Si existe suficiente producto en inventario genera la solicitud al ente encargado de hacer el despacho de producto, en caso contrario envía el requerimiento actual al agente administrador de recursos.

Agente Administrador de Recursos (AAR²): este agente, en función del potencial de producción¹⁰ y de la cantidad de recursos disponibles (pozos activos, gas para inyección, entre otros), determina si puede cumplir con la meta de producción requerida en el horizonte de tiempo establecido. Esta validación se realiza para certificar antes de iniciar el proceso de planificación, si la meta de producción exigida supera los límites de la capacidad de producción del lazo en las condiciones actuales de operación. Si no puede atenderse la solicitud, este agente deberá informar que no puede generarse un plan que cumpla a cabalidad la meta de producción en el horizonte de tiempo establecido, esto con el fin de que el usuario decida si bajo estas condiciones desea que el sistema

¹⁰ Potencial de Producción: en el caso de estudio el potencial de producción se corresponde al nivel máximo de producción que puede alcanzar el lazo de producción de petróleo en condiciones ideales de operación, considerando únicamente los pozos activos en producción.

genere el mejor plan que pueda ofrecer en función de las condiciones de operación actual del sistema. En caso que la solicitud si pueda atenderse deberá reservar los recursos para la posterior elaboración y ejecución del plan de producción.

Agente Identificador de Escenarios (AIE): se encarga de identificar el escenario actual de producción, considerando principalmente las metas actuales, las condiciones de operación, las restricciones, el horizonte de planeación, la energía adicional requerida, la energía disponible entre otros; con esta información el agente define el escenario y envía esta información al agente planificador.

Agente Planificador (AP): este agente deberá definir el plan a ejecutar en función del escenario actual, es decir, establecerá principalmente la cuota de inyección de gas por día para cada pozo, durante el horizonte de planificación considerado, a fin de cumplir con la meta de producción establecida. Para esto este agente deberá:

1. Crear el modelo de cada pozo (curvas de afluencia y efluencia), utilizando herramientas de simulación.
2. Determinar la cantidad total de energía requerida en base a los requerimientos de cada pozo, obteniendo la demanda por instalación, con la cual es posible determinar la producción óptima de líquido para cualquier cantidad de energía disponible.
3. Determinar la cantidad de energía disponible considerando las fuentes de suministro y el sistema de distribución existente. El punto de operación estará determinado por la conciliación entre la oferta (energía disponible) y la demanda (energía requerida).
4. Distribuir la energía disponible, utilizando en este caso sistemas de optimización especializados, los cuales pueden calcular la tasa de gas de inyección óptima para cada pozo en LAG de acuerdo con la disponibilidad, configuración de las redes, estatus de las unidades de compresión, aspectos legales y ambientales.

La planificación generada por este agente deberá indicar las cuotas de inyección de gas que deben ser suministrada a cada pozo durante el horizonte de planificación, así como también la fecha de salida de operación de los pozos por labores de mantenimiento, la cual será enviada al agente analizador de riesgos para su evaluación.

Agente Identificador de Riesgos (AAR³): este agente deberá evaluar el comportamiento del sistema ante cambios en variables claves del proceso. En el caso de estudio, las tareas de este agente corresponden principalmente a: disminuir las cuotas de inyección de gas para proyectar el comportamiento del pozo ante esta situación, estimar que tan afectado puede verse el sistema con la salida de funcionamiento de los pozos con alto índice de producción, por labores de mantenimiento no consideradas en la planificación, entre otras cosas. La información generada por este agente constituye el insumo para definir una estrategia de mitigación, tarea llevada a cabo por el agente planificador.

Agente Monitor de la Ejecución (AME): su función principal es monitorear la ejecución del plan e informar de posibles desviaciones. En el caso de estudio que aquí se presenta, la tarea principal de este agente es vigilar que las tasas de

inyección diarias de gas para cada pozo se mantengan dentro de lo planificado, es decir, se mantengan dentro de un rango de operación previamente establecido que permita determinar si el pozo se encuentra produciendo con la tasa de inyección de gas planificada y podrá cumplir con la meta establecida. En caso que la tasa de inyección de gas se encuentre fuera de este rango, este agente deberá informar al agente identificador de escenarios para que se evalúen las condiciones de operación actual y realizar los ajustes pertinentes al plan.

7. CASOS DE PRUEBA

7.1 Caso de Prueba A

Horizonte de planificación 6 meses, meta de producción: 60.000 barriles, tipo de producto: crudo pesado, gravedad API: 12.5, factor K: 11.0.

Se inició la simulación activando el sniffer de JADE (Kinney et al., 1992) para poder observar el intercambio de mensajes. En este caso, el agente usuario crea el mensaje con la información correspondiente a la solicitud a realizar, y busca en el directorio activo al agente administrador de requerimientos para enviarle el mensaje. El agente administrador de requerimientos recibe el mensaje, e inmediatamente busca en el directorio activo al agente administrador de productos; se comunica con este agente a través de un mensaje donde envía el código del tipo de producto a consultar. El agente administrador de productos, al recibir la solicitud, busca las especificaciones del producto. Con la información obtenida, este agente crea un mensaje de repuesta para el agente administrador de requerimientos, en el cual envía las especificaciones del producto consultado. El agente administrador de requerimientos compara las especificaciones obtenidas con la solicitud realizada, y determina que la solicitud si puede ser atendida, pues las especificaciones del producto solicitado corresponden con las especificaciones del producto entregado por el lazo de producción, por lo que envía un mensaje con la información del requerimiento en gestión al agente administrador de productos para reservar el producto solicitado.

7.2 Caso de Prueba B

Horizonte de planificación 3 meses, meta de producción: 40.000 barriles, tipo de producto: crudo liviano, gravedad API: 25.0, factor K: 12.0.

Al igual que en el caso anterior, se activa el sniffer de JADE para poder observar el intercambio de mensajes. El agente usuario inicia la simulación creando un mensaje con la información correspondiente a la solicitud a realizar, y busca en el directorio activo al agente administrador de requerimientos para enviarle el mensaje. El agente administrador de requerimientos recibe el mensaje e inmediatamente busca en el directorio activo al agente administrador de productos; se comunica con este agente a través de un mensaje donde envía el código del tipo de producto a consultar. El agente administrador de productos, al recibir la solicitud, busca las especificaciones del producto. Con la información obtenida, este agente crea un mensaje de

reputa para el agente administrador de requerimientos, en el cual envía las especificaciones del producto consultado. El agente administrador de requerimientos compara las especificaciones obtenidas con la solicitud realizada y determina que la solicitud no puede ser atendida, pues el producto solicitado con gravedad API 25.0 no se corresponde con el tipo de producto indicado (crudo liviano), por lo que envía un mensaje con la información de solicitud rechazada al agente usuario.

8. CONCLUSIONS

En este trabajo se propuso un modelo multiagente para la planificación de la producción en la industria petrolera. Para realizar esta propuesta se analizó el modelo de planificación basado en sistemas multiagente presentado en (Aguilar et al., 2007b). Por otra parte, se analizó el proceso actual de planificación en la industria petrolera, lo que permitió identificar dos debilidades fundamentales de la propuesta presentada en (Aguilar et al., 2007b): 1) las instalaciones de producción son numerosas y modelarlas cada una como un agente agrega mucha complejidad al sistema y 2) en las diferentes etapas del plan de negocio no siempre ocurre la negociación entre agentes. Por estas razones, se realizó una refinación de dicha propuesta en la cual la planificación de la producción se realiza a partir de un nivel superior de abstracción del planteado originalmente, es decir, la planificación no se realizaría individualmente para cada objeto de negocio, sino a nivel del lazo de producción, lo que permite disminuir la complejidad y facilitar la implementación del sistema.

En este trabajo se hizo énfasis en el nivel operacional, considerando como caso de estudio la planificación a nivel del lazo de producción de petróleo para pozos LAG. Finalmente, se realizó la simulación de una parte del modelo propuesto para el caso de estudio, específicamente se implementaron el agente administrador de requerimientos y el agente administrador de productos, con el objetivo de ejemplificar el comportamiento del SMA sobre un problema real y realizar una propuesta para la implementación del sistema en la industria petrolera. Con la realización de la simulación se evidenció la necesidad de utilizar un framework que facilite la implementación de los agentes, el cual disponga de los protocolos de comunicación que permitan implementar el modelo de comportamiento del SMA; para la simulación realizada en este trabajo se utilizó JADE. Por otro lado, dada la diversidad de fuentes de información a las que el SMA requiere acceder para realizar la planificación de la producción, es requisito fundamental para su implementación que se disponga de un middleware que gestione el acceso a la información.

REFERENCES

Aguilar, J., Bravo, C., Rivas, F (2004a). Diseño de una Arquitectura de Automatización Industrial basada en SMA, *Revista Ciencia e Ingeniería, Universidad de Los Andes*, Vol. 25, # 2, pp. 75-88.

Aguilar, J., Bravo, V., Rivas, F., Cerrada, M (2004b). Diseño de un Medio de Gestión de Servicios para Sistemas

Multiagentes. *XXX Conferencia Latinoamericana de Informática*, pág. 431-439, Arequipa, Perú.

Aguilar, J., Cerrada, M., Mousalli, G., Rivas, F., Hidrobo, F (2005). *A Multiagent Model for Intelligent Distributed Control Systems. Lecture Notes in Artificial Intelligence*, Springer-Verlag, Vol. 3681, pp. 191-197.

Aguilar, J., Hidrobo, F., Rivas, F., Cerrada, M., Zayas, W (2006a). *Development of a Code Generation System for Control Agents*, WSEA Transactions on Computers, Vol. 5, No. 10, pp. 2406-2411.

Aguilar, J., Prato, F., Bravo, C (2006b). Desarrollo de un Sistema Multiagente de Manejo de Situaciones Anormales para un Pozo de Levantamiento Artificial por Gas. *Procedente de la XXXII Conferencia Latinoamericana de Informática*, (12 páginas, CD), Santiago de Chile, Chile.

Aguilar, J., Cerrada, M., Cardillo, J., Cerrada, C., Faneite, R. (2007a). Agents-Based design for fault management systems in industrial processes, *Computer in Industry*, Vol. 58, pp. 313-328.

Aguilar, J., Chacal, J., Bravo, C., Hidrobo, F., Cerrada, M. (2007b). Planning and Management of the Production Factors based on the SCDIA Framework. *Proceeding of the 11th WSEAS Intl. Conf. on Computers*, pp.165-170, Agios Nikolaos, Grecia

Botti, V.J., Giret, A (2002). Aplicaciones industriales de los sistemas multiagente, *Departamento de Sistemas Informáticos y Computación*, Universidad Politécnica de Valencia.

Durfee, Edmund (1988). Coordination of Distributed Problem Solvers, *Kluwer Academic, Boston*.

Durfee, Edmund H. (1999). Distributed problem solving and planning, in: G. Weiss (ed.), *Multiagent Systems: A Modern Approach to Distributed Artificial Intelligence*, Cambridge MA.

García, E. (2001). *Automatización de Procesos Industriales*. Alfaomega. México.

Kinney David, Ljungberg Magus, Rao Anand, Sonenberg Elizabeth, Tidhar Gil, Werner Eric (1992). Planned Team Activity, *Proceedings of the Fourth European Workshop on Modeling Autonomous Agents in a MultiAgent World*.

Lemaître C., Sánchez V., Zamora L., Palacios A., González L. (1995). A Multiagent Network for Heterogeneous Workgroup Support, *Memorias del 7o. Simposium Internacional de Inteligencia Artificial*, ISAI-95, Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, Monterrey, N.L., México.

Van Brussel, H., Bongaerts, L., Wyns, J., Valckenaers, P., Van Ginderachter, T (1999). A Conceptual Framework for Holonic Manufacturing Systems: Identification of Manufacturing Holons. *Journal of Manufacturing Systems*.