

MODELADO DEL PROCESO DE PROGRAMACIÓN Y CONTROL DE LA  
PRODUCCIÓN



NORELA VANESSA MORA CERÓN  
JAIRO ALBERTO MOSQUERA SAAVEDRA

UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES  
DEPARTAMENTO DE ELECTRÓNICA, INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL  
POPAYÁN  
2010

MODELADO DEL PROCESO DE PROGRAMACIÓN Y CONTROL DE LA  
PRODUCCIÓN

Monografía presentada como requisito parcial para optar por el título de  
Ingenieros en Automática Industrial

NORELA VANESSA MORA CERÓN  
JAIRO ALBERTO MOSQUERA SAAVEDRA

Director  
Magister. ÁLVARO RENÉ RESTREPO GARCÉS

UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES  
DEPARTAMENTO DE ELECTRÓNICA, INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL  
POPAYÁN  
2010

**Msc. Juan Fernando Flórez Marulanda**

**Ing. Diana Jimena López Mesa**

## **AGRADECIMIENTOS**

Los autores del presente trabajo, manifiestan sus agradecimientos a su director, Msc. Álvaro René Restrepo, al grupo de Automatización Industrial, a la Universidad del Cauca, amigos y compañeros, quienes contribuyeron con el desarrollo de este trabajo.

## CONTENIDO

	pág
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>1. CONCEPTOS GENERALES .....</b>	<b>3</b>
1.1 MANUFACTURA INTEGRADA POR COMPUTADOR CIM (COMPUTER INTEGRATED MANUFACTURING) .....	3
1.2 MODELO CIM DE SIEMENS .....	3
1.3 MODELO SIEMENS – FIET .....	3
1.3.1 Planificación y control de la producción PPC ("Production Planning and Control"). .....	4
1.4 METODOLOGÍA PARA LA PLANIFICACIÓN, PROGRAMACIÓN Y CONTROL DE LAS OPERACIONES .....	5
1.5 TECNOLOGÍA DE AGENTES.....	6
1.5.1 ¿Qué es un agente? .....	6
1.5.2 Clasificación de los agentes.....	7
1.5.3 Características de los Agentes.....	7
1.5.4 Sistemas Multiagente .....	8
1.5.5 Características de los SMA.....	9
1.5.6 Ventajas de los SMA.....	10
1.5.7 Metodologías para el Desarrollo de SMA.....	10
<b>2. METODOLOGÍA INGENIAS PARA EL DESARROLLO DE SISTEMAS MULTIAGENTE .....</b>	<b>11</b>
2.1 DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA INGENIAS .....	11
2.2 ARQUITECTURA BDI.....	14
2.3 PATRONES ARQUITECTÓNICOS DE DISEÑO .....	15

<b>3. PROCESO DE DESARROLLO PARA LA OBTENCIÓN DEL MODELO DINÁMICO DE PPC.....</b>	<b>17</b>
3.1 DEFINICIÓN DE FUNCIONES Y SUBFUNCIONES DE PPC.....	18
3.1.1 Establecer Programas.....	18
3.1.2 Pedido Extraordinario.....	19
3.1.3 Planificación del Programa de Producción.....	19
3.1.4 Planificación de Cantidades.....	21
3.1.5 Programación de Materiales.....	22
3.1.6 Programación de la Fabricación.....	22
3.1.7 Lanzamiento de la Orden de Trabajo.....	24
3.1.8 Seguimiento de la Orden de Trabajo.....	24
3.1.9 Inventario.....	25
3.2 REPRESENTACIÓN INTERNA DE PPC.....	26
3.2.1 Obtención del PMP.....	28
3.2.2 Verificación del PMP.....	29
3.2.3 Obtención del Plan de Materiales.....	30
3.2.4 Verificación del Plan de Materiales.....	32
3.2.5 Lanzamiento de la Orden de Producción.....	35
3.2.6 Seguimiento de la Orden de Producción.....	36
3.2.7 Realizar Inventario.....	37
3.3 PROCESO DE DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA INGENIAS PARA EL ÁMBITO PPC.....	38
3.3.1 Análisis–Inicio.....	38
3.3.2 Diseño-Inicio.....	39
3.3.3 Análisis-Elaboración.....	39
3.3.4 Diseño-Elaboración.....	41
<b>4. MODELO RESULTANTE DE PPC.....</b>	<b>43</b>
4.1 APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA INGENIAS.....	43
4.1.1 Análisis–Inicio.....	44
4.1.2 Análisis-Elaboración.....	49
4.1.3 Diseño-Elaboración.....	68
4.2 VERIFICACIÓN DEL MODELO DINÁMICO DE PPC.....	75
4.3 INTEGRACIÓN EMPRESARIAL EN EL MODELO DINÁMICO DE PPC.....	79

4.4 REPRESENTACIÓN DINÁMICA DE PPC .....	80
<b>5. VALIDACIÓN DEL MODELO DINÁMICO EN LA EMPRESA CASO DE ESTUDIO ....</b>	<b>83</b>
5.1 DESCRIPCIÓN DE LOS PROCESOS DE LA EMPRESA CASO DE ESTUDIO .....	83
5.1.1 Proceso de Producción de la Industria Licorera del Cauca. ....	83
5.1.2 Sistema de Información de la Industria Licorera del Cauca.....	84
5.1.3 Proceso de Programación y Control de la Producción de la ILC .....	85
5.2 REPRESENTACIÓN DEL PROCESO DE PPC DE LA ILC.....	87
5.3 IDENTIFICACIÓN DE ENTIDADES DEL MODELO DINÁMICO DE PPC PRESENTES EN EL PROCESO DE LA ILC.....	92
<b>6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>98</b>
<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>101</b>

## LISTA DE FIGURAS

	<b>pág.</b>
Figura 1. Estructura interna de PPC.....	4
Figura 2.Estructura de un sistema jerárquico de planificación y control de la producción ...	5
Figura 3. Relaciones entre los diferentes meta-modelos y las dos entidades principales, la organización y el agente.....	12
Figura 4. Pasos necesarios para la obtención del modelo dinámico de PPC .....	17
Figura 5. Diagrama de flujo del proceso de PPC .....	27
Figura 6. Fase de obtención de PMP del proceso de PPC .....	28
Figura 7. Fase de verificación del PMP del proceso de PPC .....	30
Figura 8. Fase de obtención del plan de materiales del proceso de PPC.....	32
Figura 9. Fase de verificación del plan de materiales del proceso de PPC .....	33
Figura 10. Fase de lanzamiento de la orden de producción del proceso de PPC .....	35
Figura 11. Fase de seguimiento de la orden de producción del proceso de PPC .....	36
Figura 12. Fase realizar inventario del proceso de PPC .....	37
Figura 13. Diagrama general de casos de uso.....	45
Figura 14. Modelo de entorno .....	47
Figura 15. Arquitectura tentativa para el modelo de organización .....	48
Figura 16. Caso de uso refinado .....	51
Figura 17. Interacción <i>Programar PMP</i> .....	53
Figura 18. Descomposición del objetivo global .....	55
Figura 19. Tarea <i>Establecer Programa de Producción</i> .....	58
Figura 20. Modelo de agente para el agente <i>Planificador de Programas</i> .....	59

Figura 21. Responsables de la ejecución de tareas para el agente <i>Planificador de Programas</i> .....	59
Figura 22. Modelo de agente para el agente <i>Planificador de Materiales</i> .....	60
Figura 23. Responsables de la ejecución de tareas para el agente <i>Planificador de Materiales</i> .....	60
Figura 24. Modelo de agente para el agente <i>Controlador de la Producción</i> .....	61
Figura 25. Responsables de la ejecución de tareas para el agente <i>Controlador de la Producción</i> .....	61
Figura 26. Modelo de agente para el agente <i>Administrador de Inventario</i> .....	61
Figura 27. Responsables de la ejecución de tareas para el agente <i>Administrador de Inventario</i> .....	62
Figura 28. Modelo de agente para el agente <i>Comunicador</i> .....	62
Figura 29. Responsables de la ejecución de tareas para el agente <i>Comunicador</i> .....	62
Figura 30. Representación del SMA para el proceso de PPC .....	66
Figura 31. Descomposición flujo de trabajo <i>Programar la Producción</i> .....	66
Figura 32. Descomposición flujo de trabajo <i>Programar la Producción</i> .....	67
Figura 33. Tareas que componen el flujo de trabajo <i>Elaborar PMP y Atender Pedido Extra</i> .....	69
Figura 34. Secuencia de tareas para el flujo de trabajo <i>Elaborar PMP y Atender Pedido Extra</i> .....	69
Figura 35. Descripción detallada del flujo de trabajo <i>Elaborar PMP y Atender Pedido Extra</i> .....	70
Figura 36. Responsables de la ejecución de tareas en el flujo <i>Elaborar PMP y Atender Pedido Extra</i> .....	71
Figura 37. Diagrama GRASIA asociado a la interacción <i>Programar PMP</i> .....	72
Figura 38. Ordenación de las unidades de interacción en la interacción <i>Programar PMP</i>	73
Figura 39. Comportamiento del agente <i>Planificador de Programas</i> en el flujo de trabajo <i>Elaborar PMP y Atender Pedido Extra</i> .....	76

Figura 40. Unidades de interacción asociadas a la interacción <i>Programar PMP</i> .....	77
Figura 41. Unidades de interacción asociadas a la interacción <i>Atender Pedido Extra</i> .....	78
Figura 42. Modelo de agente para el agente <i>Comunicador</i> .....	79
Figura 43. Responsables de la ejecución de tareas para el agente <i>Comunicador</i> .....	79
Figura 44. Representación dinámica del proceso de PPC con SMA .....	81
Figura 45. Proceso de elaboración de aguardiente en ILC. ....	83
Figura 46. Mapa de procesos de la ILC .....	84
Figura 47. Diagrama de flujo del proceso de PPC de la ILC .....	91
Figura 48. Representación dinámica del proceso de PPC con SMA de la ILC .....	96

## LISTA DE TABLAS

	<b>pág.</b>
Tabla 1. Adecuación de las etapas del RUP a los meta-modelos de INGENIAS .....	13
Tabla 2. Código de colores para los ámbitos funcionales .....	26
Tabla 3. Actividades para generar modelo de entorno.....	38
Tabla 4. Actividades para generar arquitectura tentativa del SMA .....	39
Tabla 5. Actividades para generar modelo de interacción .....	39
Tabla 6. Actividades para generar modelo de tareas y objetivos.....	40
Tabla 7. Actividades para generar modelo de agente.....	40
Tabla 8. Actividades para generar modelo de organización .....	41
Tabla 9. Actividades para refinar modelo de organización.....	41
Tabla 10. Actividades para generar diagramas GRASIA .....	42
Tabla 11. Actividades para generar el control del agente .....	42
Tabla 12. Notación empleada en la representación de los modelos.....	43
Tabla 13. Roles comunicadores.....	46
Tabla 14. Roles específicos .....	46
Tabla 15. Identificación de grupos y subgrupos en la organización.....	48
Tabla 16. Casos de uso refinados.....	49
Tabla 17. Participantes de las interacciones.....	52
Tabla 18. Tareas identificadas en el modelo de objetivos y tareas.....	54
Tabla 19. Asociación de tareas a objetivos .....	56
Tabla 20. Estados mentales para cada agente .....	74
Tabla 21. Código de colores para los flujos de trabajo de PPC .....	80

Tabla 22. Características de los SMA en el modelo dinámico de PPC.....	82
Tabla 23. Especificación de los ámbitos funcionales en la ILC.....	87
Tabla 24. Subfunciones y cuadros de decisión identificados en el proceso de PPC de la ILC.....	88
Tabla 25. Identificación de tareas y objetivos para el modelo de PPC de la ILC .....	92
Tabla 26. Asociación de tareas con agentes y flujos de trabajo de la ILC .....	94
Tabla 27. Especificación de interacciones que aplican en el SMA de la ILC .....	95

## **LISTA DE ANEXOS**

**ANEXO A.** ÁMBITO FUNCIONAL PPC DEL MODELO SIEMENS – FIET

**ANEXO B.** METODOLOGÍA PARA LA PLANIFICACIÓN, PROGRAMACIÓN Y CONTROL DE LAS OPERACIONES

**ANEXO C.** METODOLOGÍAS PARA DESARROLLO DE SMA

**ANEXO D.** MODELO RESULTANTE DE PPC

**ANEXO E.** PROCESO DE PRODUCCIÓN DE LA ILC

## **RESUMEN**

Mediante el siguiente trabajo se pretende dar a conocer el modelado dinámico del ámbito funcional PPC (Programación y Control de la Producción) tomando como base estructural el modelo Siemens-FIET, a través de la metodología INGENIAS para el desarrollo de sistemas multiagente. En este trabajo se expone una serie de elementos investigativos que permiten establecer el proceso de desarrollo para la obtención del modelo, con el fin de integrar las distintas áreas funcionales de una empresa de manufactura, a través de flujos de materiales e intercambio de información de forma oportuna y eficiente, por medio de la coordinación de sus actividades. Así mismo, se presenta la validación del modelo resultante mediante la aplicación a un caso de estudio: "Industria Licorera del Cauca".

## INTRODUCCIÓN

El mundo empresarial de las empresas de manufactura es testigo de una verdadera revolución basada en el aprovechamiento de los datos provenientes de los procesos de producción, ya que durante muchas generaciones el proceso industrial se consideró como un elemento aislado del área administrativa y de los sistemas de negocios. En este sentido, los procesos de integración empresarial dependen del conocimiento y del flujo libre pero controlado de información, así como la coordinación de las actividades de las empresas; por tanto, es fundamental identificar claramente los elementos y procesos relevantes para obtener modelos estructurales y de comportamiento del sistema empresarial [1].

La integración de las diferentes tecnologías existentes en una empresa, se ha vuelto un factor determinante en el proceso productivo, esto implica el manejo óptimo de información útil, desde el nivel regulatorio donde se ejecutan acciones de control sobre la planta, hasta niveles de planificación corporativa donde se toman decisiones que afectan el desempeño global de la empresa [2]. Para llevar a cabo el manejo de la información se han desarrollado modelos de automatización que consisten en una manera genérica de organizar e integrar componentes de sistemas; sirven como punto de partida para el diseño de un gran número de sistemas en un área de aplicación, especifican la estructura general del sistema y muestran cuales tareas han de ser ejecutadas, además de permitir al diseñador el uso del modelo para definir una arquitectura que establezca los aspectos más importantes que deben considerarse durante el proceso de modelado e integración empresarial, como la terminología empleada, la estructura del sistema y actividades de cada uno de sus componentes [3].

Debido al crecimiento y complejidad de los procesos productivos, la mayoría de los sistemas automatizados han sido modelados en estructuras estáticas con tareas separadas y funciones especializadas. Son múltiples las arquitecturas definidas con el fin de modelar una industria automatizada y facilitar la integración de las actividades desarrolladas [3]. Actualmente las industrias requieren conocer el comportamiento de sus procesos de producción para evaluar la respuesta en el tiempo de su sistema, optimizar la toma de decisiones y controlar los flujos de información, por ello se hace necesario el modelado dinámico de las distintas funciones especializadas.

Una de las técnicas que busca integrar las distintas áreas funcionales de una empresa de manufactura es el Modelo Siemens-FIET [4] el cual ofrece una visión de funciones especializadas en diferentes ámbitos, como lo es el proceso de Control y Programación de la Producción (PPC) encargado de administrar la cadena de suministro mediante un conjunto de acciones que se encargan de analizar las ordenes de producción, establecer el programa de producción y determinar el uso óptimo de los recursos para satisfacer los requerimientos de producción.

El proceso de Programación y Control de la Producción se ve afectado por variaciones dinámicas que provienen de cambios en el diseño del producto, gestión de materiales, programación, disponibilidad de la capacidad de fabricación y preparación de los costes de producción [5]. Es por esta razón que las empresas de manufactura, han venido mejorando los procesos, donde se aplican nuevas tecnologías que incluyen capacidades de integración, cooperación, coordinación, robustez, reactividad, flexibilidad, heterogeneidad, autonomía y viabilidad, entre las más principales. Pensando en este tipo de procesos complejos, una monitorización centralizada y jerárquica no es la más adecuada, de ahí la necesidad de técnicas inteligentes distribuidas que garanticen la solución de dichos problemas [6].

La técnica de los Sistemas Multiagente (SMA) ofrece soluciones para el diseño de sistemas de producción dotados de la flexibilidad y la robustez necesarias para poder hacer frente a las dificultades expuestas en el párrafo anterior. Los SMA proponen el diseño de sistemas de producción formados por componentes autónomos que controlan su propia área de responsabilidad y capaces de coordinar sus actividades cuando sea necesario [7].

Este trabajo propone modelar de forma dinámica el proceso de Programación y Control de la Producción basado en el tratamiento de la información y la comunicación de la estructura del Modelo Siemens-FIET utilizando la metodología INGENIAS para el desarrollo de Sistemas Multiagente (SMA). El paradigma Multi-Agente ha demostrado ser apropiado para el diseño y modelado de arquitecturas de control de sistemas distribuidos inteligentes, altamente dinámicos e impredecibles, consideradas características propias de los sistemas de manufactura, exigiendo de la arquitectura de control flexibilidad, capacidad de toma de decisiones autónomas y adaptación rápida ante disturbios que puedan presentarse en el sistema.

El documento contiene seis capítulos en los cuales se muestran los resultados del trabajo desarrollado. Inicialmente se introduce al lector en el conocimiento de los conceptos teóricos necesarios para la comprensión del proyecto. Posteriormente, se explica la metodología INGENIAS para el desarrollo de SMA definida para realizar el modelado del proceso de Programación y Control de la Producción; luego, se describe el proceso de desarrollo propuesto para la obtención del modelo dinámico de PPC; después, se muestra el modelo resultante a través del cual se evidencia la dinámica del proceso de PPC y la integración con los demás ámbitos funcionales. Para validar el modelo se efectúa una aplicación ilustrativa al caso de estudio: "Industria Licorera del Cauca". Finalmente, se plantean trabajos futuros y se destacan algunas conclusiones. Adicionalmente, se presenta una documentación en los anexos que tiene como finalidad mostrar de una manera más detallada el trabajo realizado.

## 1. CONCEPTOS GENERALES

En este capítulo se introduce al lector en el conocimiento de los conceptos teóricos necesarios para la comprensión del proyecto, los cuales proporcionan una base conceptual para realizar el modelado del proceso de Programación y Control de la Producción.

### 1.1 MANUFACTURA INTEGRADA POR COMPUTADOR CIM (*COMPUTER INTEGRATED MANUFACTURING*)

CIM es un sistema de información cuyo objetivo es tratar de integrar las distintas áreas funcionales de una organización productora de bienes a través de flujos de materiales e información, mediante la automatización y coordinación de sus distintas actividades, utilizando el soporte de plataformas “hardware”, “software” y comunicación. Los beneficios derivados de una implementación CIM pueden ser tangibles, tales como calidad más alta, inventario reducido, menos espacio de piso y un flujo de productos y materiales más ordenado. Así mismo, pueden obtenerse otros beneficios intangibles: flexibilidad en los procesos, mejor programación de la producción, menor tiempo de rendimiento y de producción, y rápida respuesta ante cambios en el mercado, entre otros. Los beneficios intangibles son más difíciles de cuantificar; la dificultad surge en gran parte porque estos beneficios representan un incremento de ingresos más que un ahorro de costos [8].

### 1.2 MODELO CIM DE SIEMENS

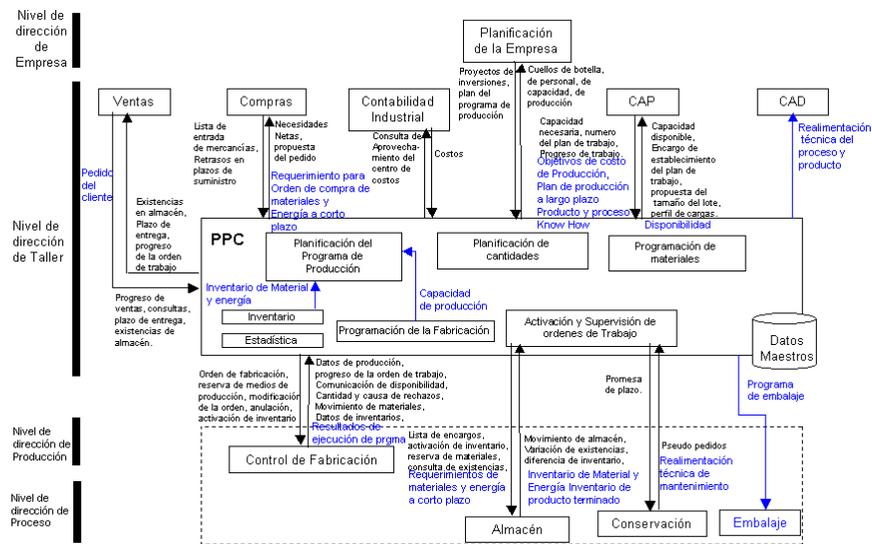
Este Modelo describe la utilización integrada de la Informática en todos los ámbitos de fábrica relacionados con la producción. Abarca la interacción de CAD (*Diseño Asistido por Computador*), CAP (*Planeación Asistida por Computador*), CAM (*Manufactura Asistida por Computador*), CAQ (*Calidad Asistida por Computador*) y PPC (*Programación y Control de la Producción*), PE (Planificación Empresarial), CI (Contabilidad Industrial), COMPRAS y VENTAS a nivel de tecnología de la información. Con ello se intenta lograr la integración de las funciones técnicas y organizativas para la fabricación del producto [9].

### 1.3 MODELO SIEMENS – FIET

El Modelo Siemens-FIET es el resultado de la adecuación del Modelo CIM de Siemens y la Norma ISA 95, ambos considerados técnicas para la integración empresarial. Este modelo conserva la estructura original del Modelo CIM de Siemens con funciones descritas en la Norma ISA 95 parte (1 y 2). La metodología general de aproximación entre el modelo CIM de Siemens y las normas ISA S-88 e ISA S-95 recoge una serie de elementos de análisis comparativo entre las actividades, funciones y flujo de información referenciadas por las normas y los diferentes ámbitos funcionales del modelo CIM de Siemens con su respectivo intercambio de información, con el fin de obtener un modelo CIM de Siemens adecuado, que cumpla con las normas mencionadas [4].

**1.3.1 Planificación y control de la producción PPC ("Production Planning and Control").** PPC designa la utilización de sistemas informáticos para organizar la producción, realizar el control y el seguimiento de las distintas fases de producción. Las funciones principales son: la planificación de la producción, de las cantidades, la programación de materiales, de los plazos y la capacidad necesaria para cumplir los pedidos. También abarca la programación (scheduling), compras y administración de inventarios, así como el seguimiento de las ordenes [8]. En la figura 1 se muestra la estructura interna de PPC y los flujos de información necesarios para realizar la comunicación con los demás ámbitos funcionales.

**Figura 1.** Estructura interna de PPC



**Fuente:** Adecuación del modelo siemens a las normas ISA s88 e ISA s95 con aplicación ilustrativa a caso de estudio, febrero de 2007 [4].

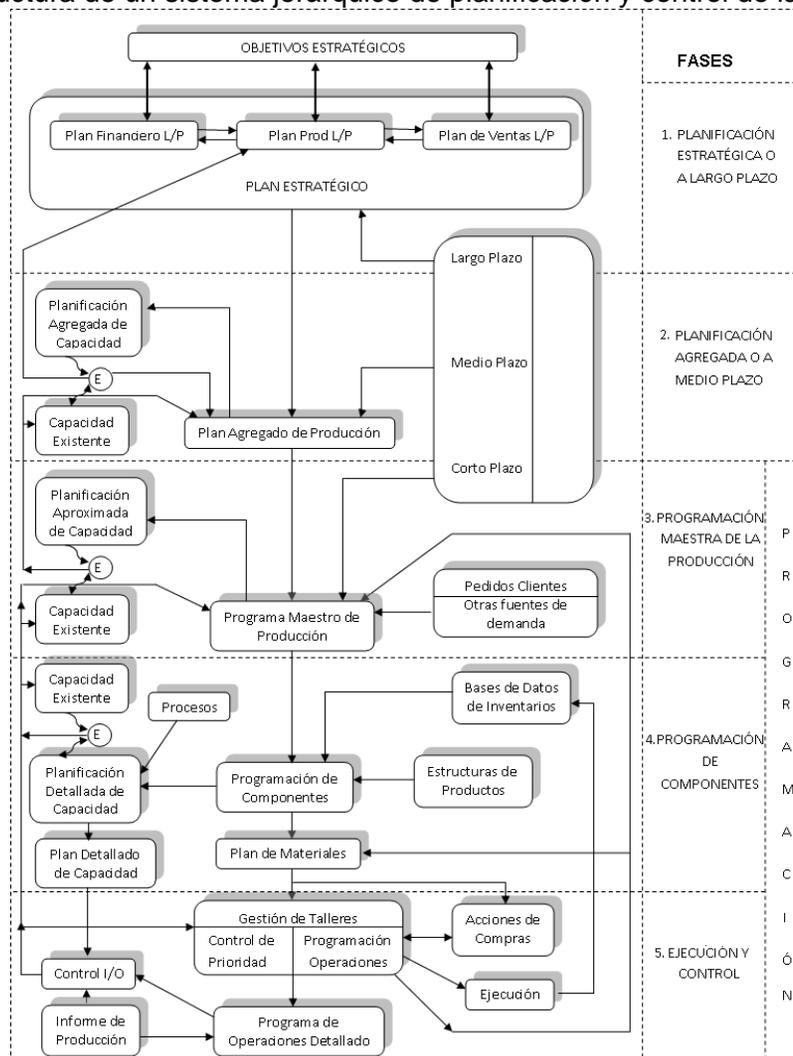
El proceso de Control y Programación de la Producción administra la cadena de suministro mediante un conjunto de acciones que se encargan de analizar las ordenes de producción, realizar la descomposición de una orden en una secuencia de operaciones, establecer el programa de producción y determinar el uso óptimo de los recursos para satisfacer los requerimientos de producción.

De acuerdo al modelo Siemens-FIET el ámbito PPC está conformado por una serie de funciones y subfunciones que permiten la programación y el control de la producción en una empresa de manufactura; las funciones, subfunciones y flujos de información se muestran en el Anexo A.

## 1.4 METODOLOGÍA PARA LA PLANIFICACIÓN, PROGRAMACIÓN Y CONTROL DE LAS OPERACIONES

De acuerdo a José A. Domínguez Machuca [10], la metodología para la planificación, programación y control de las operaciones sigue un enfoque jerárquico que permite la coordinación entre los objetivos, planes y actividades a largo, medio y corto plazo. Ello quiere decir que cada uno perseguirá sus propias metas, pero teniendo siempre en cuenta las de nivel superior, de las cuales dependen, y de las de nivel inferior, a las que restringen. La forma en que puede estructurarse el proceso de planificación y control de la producción para una empresa de fabricación puede observarse en cinco fases diferenciadas como se muestra en la figura 2.

**Figura 2.** Estructura de un sistema jerárquico de planificación y control de la producción



**Fuente:** Dirección de Operaciones: Aspectos Tácticos y Operativos en la Producción y los Servicios, 1995 [10]

Tomando como base esta metodología cabe resaltar que el objetivo del trabajo de grado especifica el análisis del ámbito funcional PPC, el cual implica la adopción de las etapas 3 y 4 de la metodología como descripción de su funcionamiento interno, y las fases 1, 2 y 5 indican sus relaciones externas ya sea como flujos de entrada o salida del ámbito funcional. Para mayor entendimiento de esta metodología se detalla en el Anexo B la descripción del proceso de planificación y control de la producción mostrado en la figura 2 y los aspectos mencionados anteriormente referentes a las fases.

## 1.5 TECNOLOGÍA DE AGENTES

Los agentes surgen como respuesta a la necesidad de contar con aplicaciones de software que resuelvan problemas complejos minimizando la intervención externa, aplicando principios que emulen el razonamiento humano. Los agentes permiten crear sistemas de software con mayor capacidad de adaptación. El agente puede ser una entidad proactiva y autónoma. Estas características son cruciales hoy en día cuando es necesario manejar y procesar gran cantidad de información distribuida. La tecnología de agentes es muy usada en el área de control y automatización de procesos [12]. Estos sistemas son complejos, distribuidos y persistentes, lo que hace muy natural el uso de la teoría de agentes en el diseño de estos sistemas [12]. A continuación se describen los conceptos relacionados a los sistemas multiagente, con el fin de lograr un buen entendimiento, ya que la teoría de agentes es indispensable para la elaboración de este trabajo.

**1.5.1 ¿Qué es un agente?** Un agente es un sistema de software que se sitúa en un ambiente y opera en un ciclo continuo de Percepción – Razonamiento – Actuación. El agente percibe los cambios en su entorno, aplica un razonamiento empleando la información conocida por él y la nueva información disponible, y selecciona una acción a tomar en consecuencia [11].

Según Wooldridge y Jennings, un agente es un sistema computacional autónomo y flexible, que es capaz de actuar en un entorno. Flexible significa, que el agente es [12]:

- *Reactivo*, reacciona al entorno en el cual se encuentra
- *Pro-activo*, es capaz de cumplir su propia agenda (planes u objetivos)
- *Social*, es capaz de comunicarse con otros agentes a través de algún lenguaje

Russell y Norving, definen un agente como todo aquello que puede considerarse que percibe su ambiente mediante sensores y responde o actúa en tal ambiente por medio de efectores [13].

Allen Newell asume que, un agente, maneja únicamente conocimiento y se comporta de acuerdo con el *principio de racionalidad*. Este principio estipula que un agente emprende acciones porque está buscando satisfacer un objetivo [14].

**1.5.2 Clasificación de los agentes.** De acuerdo a [13], los agentes se pueden clasificar en:

**Agente cognitivo.** Es aquel que es capaz de efectuar operaciones complejas, es individualmente inteligente (es un sistema más o menos experto, con capacidad de razonamiento sobre su base de conocimiento), puede comunicarse con los demás agentes y llegar a un acuerdo con todos o algunos de ellos, sobre alguna decisión. Un sistema cognitivo está compuesto por un pequeño número de agentes cognitivos.

**Agente reactivo.** Es un agente de bajo nivel, que no dispone de un protocolo ni de un lenguaje de comunicación y cuya única capacidad es responder a estímulos. Los agentes reactivos no son individualmente inteligentes, sino globalmente inteligentes. Los sistemas reactivos por lo general están compuestos por un gran número de agentes reactivos que realizan acciones entre todos, para esto es necesario tener en cuenta nuevas teorías de cooperación y comunicación que permitan el desempeño de estas acciones.

**Agente de interfaz.** Este es un software casi inteligente que asiste a un usuario cuando interactúa con una o más aplicaciones. Estos agentes apoyan y proveen asistencia a su usuario.

**Agente colaborativo.** Los agentes colaborativos constituyen un sistema multiagente, es decir, existe más de un agente dedicado a satisfacer los requerimientos de sus usuarios. Para ello es necesario contar con esquemas de comunicación entre agentes que posibiliten la cooperación y el intercambio de conocimiento.

**Agentes móviles.** La noción de movilidad viene del objetivo de reducir el tráfico innecesario dentro de una red, con lo que se puede reducir los costos de comunicación. El concepto de movilidad significa que un agente puede transitar entre varias máquinas, para evitar una sobrecarga de comunicación o utilizar recursos que no dispone en su máquina.

**1.5.3 Características de los Agentes.** Un agente está caracterizado por una serie de calificativos, los cuales vienen a denotar ciertas propiedades a cumplir por el agente. En [13] se definen las siguientes características básicas de un agente:

**Continuidad temporal.** En virtud de que un agente sigue un proceso sin fin, ejecutando y desarrollando su función continuamente.

**Autonomía.** Porque se basa en su experiencia. El agente es capaz de adaptarse a cambios que se presenten en su entorno. Los agentes pueden operar sin la directa intervención de humanos u otros agentes.

**Sociabilidad.** Lo cual permite a un agente comunicarse con otros agentes o incluso con otras entidades.

**Racionalidad.** El agente siempre realiza <<lo correcto>> a partir de los datos que percibe del entorno.

**Reactividad.** Un agente actúa como resultado de cambios en su entorno. En este caso, un agente percibe el entorno y esos cambios dirigen el comportamiento del agente.

**Pro-actividad.** Los agentes no son sólo entidades que reaccionan a estímulos. Un agente es pro-activo cuando es capaz de controlar sus propios objetivos a pesar de cambios en el entorno.

**Adaptabilidad.** Está relacionado con el aprendizaje que un agente es capaz de realizar y si puede cambiar su comportamiento basándose en ese aprendizaje.

**Movilidad.** Es la capacidad de un agente para moverse a través de una red.

**Veracidad.** Un agente no puede comunicar información falsa de manera deliberada.

**Benevolencia.** Un agente está dispuesto a ayudar a otros agentes si esto no está en contra de sus propios objetivos.

**1.5.4 Sistemas Multiagente (SMA).** El estudio de Sistemas Multiagentes se inició hace cerca de 20 años, en el ámbito de la Inteligencia Artificial Distribuida (Distributed Artificial Intelligence-DAI). La DAI es un sub-campo de investigación de la Inteligencia Artificial (AI). La DAI estudia el comportamiento inteligente de grupo que se deriva a partir de la cooperación de entidades llamadas agentes. Estudia cómo un grupo de módulos cooperan para dividir y compartir el conocimiento del problema y cómo se desarrolla la solución. La DAI se centra en el comportamiento global, con un comportamiento prefijado de los agentes. Se interesa por las técnicas y el conocimiento necesarios para la coordinación y distribución del conocimiento y las acciones en un entorno multiagente [12].

La DAI puede definirse como el estudio, la construcción y la aplicación de los denominados sistemas multiagente (*Multiagent Systems*, MAS); sistemas en los que

diversas entidades inteligentes interactúan para la consecución de un conjunto de objetivos o la realización de una serie de tareas [15].

En general un SMA está constituido por un conjunto de entidades inteligentes llamadas agentes que coordinan sus habilidades para la resolución de problemas individuales o globales. En cierto modo, un sistema multiagente es un sistema distribuido, en el cual los nodos o elementos son sistemas de inteligencia artificial, o bien un sistema distribuido donde la conducta combinada de dichos elementos produce un resultado en conjunto inteligente [13].

**1.5.5 Características de los SMA.** De acuerdo [13], los SMA exhiben características particulares, las cuales se presentan a continuación:

**La organización social de un SMA.** Es la manera como el grupo de agentes está constituido en un instante dado. Está relacionada con la estructura de los componentes funcionales del sistema, sus características, sus responsabilidades, sus necesidades y la manera como realizan sus comunicaciones. Esta organización puede ser estática o dinámica, dependiendo de las funciones o tareas de cada agente.

**La cooperación en un SMA.** En un SMA existen dos tipos de tareas que deben ser realizadas: las tareas locales y las tareas globales. Las tareas locales son las tareas relacionadas con los intereses individuales de cada agente y las tareas globales son las tareas relacionadas con los intereses globales del sistema, por ello se necesitan mecanismos de cooperación que permitan compartir resultados intermedios que lleven al progreso en la resolución de las tareas de otros agentes y al progreso de la solución global que debe alcanzar el sistema.

**La coordinación en un SMA.** La coordinación entre un grupo de agentes les permite considerar todas las tareas a realizar y coordinarlas para no ejecutar acciones no deseables.

**La negociación en un SMA.** Para que los mecanismos de cooperación y coordinación sean exitosos en un sistema de agentes que actúan interdependientemente, debe existir un mecanismo adicional, por medio del cual, los integrantes de un sistema se puedan poner de acuerdo cuando cada agente defiende sus propios intereses, llevándolos a una situación que los beneficie a todos teniendo en cuenta el punto de vista de cada uno. Este mecanismo es llamado negociación.

**El control de un SMA.** El control es el mecanismo básico que provee apoyo para la implementación de mecanismos de coordinación en un SMA. Mediante el control se determina cuáles son las subtareas más importantes a realizar en un momento dado, qué

contexto (resultados intermedios de otros agentes) deben ser usados en la solución de una subtarea, etc.

**1.6.6 Ventajas de los SMA:** En [13] se definen las siguientes ventajas del modelado usando sistemas multiagente:

- La propuesta de un SMA supone la existencia de un conjunto de agentes heterogéneos que se integran optimizando programas con objetivos diferentes relacionados con procesos diferentes. Dichos agentes son capaces de percibir los cambios en el entorno y se adaptan produciendo cambios en su comunidad para alcanzar los objetivos establecidos. Su autonomía les permite realizar tareas encaminadas a alcanzar objetivos locales. La cooperación entre los agentes posibilita la coordinación del sistema para alcanzar los objetivos globales, permitiendo a su vez la flexibilidad necesaria para adaptarse a los cambios.
- Los SMA proporcionan las bases para la creación de una arquitectura que posibilita la reducción de complejidad, la flexibilidad, la escalabilidad y la tolerancia a fallos.
- Un sistema de planificación/programación autónomo y distribuido basado en SMA se caracteriza por mejorar la reactividad ante eventos y está potencialmente capacitado para resolver problemas de programación dinámica.
- Un SMA mantiene su funcionalidad a pesar de fallos individuales puntuales. Es fiable.

La globalización de la economía, la rapidez de la evolución tecnológica y la exigencia de calidad por parte de los clientes, no sólo en el ámbito de las prestaciones, sino también en costes y plazos de producción, están trayendo como consecuencia que los estilos tradicionales de gestión empresarial se vean desbordados, ya que su concepción impide que tales sistemas se adapten a las necesidades rápidamente cambiantes que se derivan de la nueva economía. Aquí es donde la tecnología de los agentes inteligentes proporciona una manera natural de superar tales problemas, y un modo de diseñar e implementar entornos de producción distribuidos inteligentes dotados de una mayor flexibilidad. Por esta razón, se aplica la teoría de agentes inteligentes a los problemas empresariales tales como la integración de la producción al sistema empresarial, gestión de la cadena de suministros, planificación, programación y control de la producción, aprovisionamientos, etc. [7].

**1.5.7 Metodologías para el Desarrollo de SMA.** Las metodologías proporcionan medios para construir SMA de forma disciplinada y repetible. Teniendo en cuenta que la metodología para el desarrollo de SMA utilizada para este proyecto es INGENIAS, se realiza en el Anexo C un análisis comparativo de las diferentes metodologías y la justificación de su escogencia.

## 2. METODOLOGÍA INGENIAS PARA EL DESARROLLO DE SISTEMAS MULTIAGENTE

En este capítulo se describe la metodología INGENIAS [14] desarrollada por el Grupo de Investigación en Agentes Software: Ingeniería y Aplicaciones (GRASIA) de la Universidad Complutense de Madrid. Esta metodología se ha adoptado para modelar el Proceso de Programación y Control de la Producción. INGENIAS es una metodología orientada a agentes de la ingeniería del software para el desarrollo de sistemas multiagente. Combina resultados de investigación de agentes con los conceptos y los métodos establecidos en la metodología MESSAGE [16]. INGENIAS se puede considerar una alternativa valiosa en el campo orientado a agentes de la investigación de la ingeniería del software.

### 2.1 DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA INGENIAS

De acuerdo al autor Jorge J. Gómez Sanz [14], la metodología INGENIAS, concibe el SMA como la representación computacional de un conjunto de modelos. Cada uno de estos modelos muestra una visión parcial del SMA: los agentes que lo componen, las interacciones que existen entre ellos, cómo se organizan para proporcionar la funcionalidad del sistema, que motivaciones tiene y cómo es el entorno en el que se ubica el sistema a desarrollar.

Para especificar cómo tienen que ser estos modelos se definen meta-modelos. Un meta-modelo es una representación de los tipos de entidades que pueden existir en un modelo, sus relaciones y restricciones de aplicación. Los meta-modelos que se describen en esta metodología son una evolución del trabajo realizado en MESSAGE [16]. El resultado son cinco meta-modelos que giran alrededor de dos entidades la *organización* y el *agente*, como se muestra en la figura 3.

**El meta-modelo de agente**, se centra en la funcionalidad del agente y en el diseño de su control. La funcionalidad o responsabilidades del agente se relacionan con las tareas que sabe ejecutar y los objetivos que se compromete a alcanzar. El diseño de su control identifica mediante qué mecanismos se va a asegurar la ejecución de tareas dentro de los parámetros acordados. Este control toma como entrada un conjunto de datos que se denominará *estado mental*. Además, se considerará el *estado mental* como algo dinámico que evoluciona con el tiempo. Esta idea es necesaria para poder incluir el aprendizaje entre las capacidades del agente.

**El meta-modelo de interacción**, se ocupa de detallar cómo se coordinan y comunican los agentes mediante interacciones que determinan su comportamiento mostrando cuál es su reacción cuando actúan sobre ellos. El meta-modelo de interacción se construye sobre: agentes, roles, objetivos, interacciones y unidades de interacción. Los agentes y roles son los actores de las interacciones. En las interacciones se ejecutan unidades de interacción (pasos de mensaje, lectura y escritura) en las que hay un iniciador (emisor) y

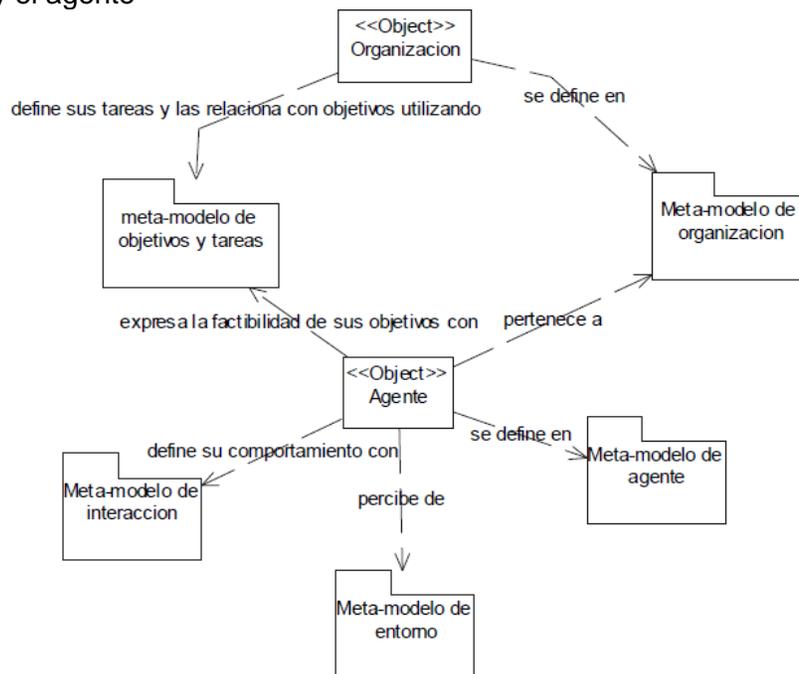
colaboradores (receptores). Además, se justifica la participación de los actores en la interacción y la existencia de la interacción en sí mediante objetivos.

**El meta-modelo de tareas y objetivos**, se usa para expresar la motivación que hay detrás de las tareas y qué opciones de actuación se le presentan a un agente en un momento dado, se refleja la relación de los objetivos con los agentes, roles y organizaciones.

**El meta-modelo de organización**, define la estructura de la organización y como se agrupan los distintos componentes del sistema (agentes, roles, recursos y aplicaciones), la funcionalidad del sistema está contenida en los flujos de trabajo, los cuales establecen cómo se asignan los recursos, qué pasos (tareas) son necesarios para la consecución de un objetivo, y quiénes son los responsables de ejecutarlas. Además define las restricciones sociales que hay que imponer sobre la interacción entre los agentes.

**El meta-modelo del entorno**, define qué existe alrededor del nuevo sistema y cómo lo percibe cada agente. También identifica los recursos y aplicaciones del sistema y quién es el responsable de su gestión.

**Figura 3.** Relaciones entre los diferentes meta-modelos y las dos entidades principales, la organización y el agente



**Fuente:** Modelado de Sistemas Multi-Agente, 2002 [14].

Una de las ventajas de utilizar *meta-modelos* es que las especificaciones generadas de SMA son lo suficientemente estructuradas para ser procesadas de forma automática. Así, se puede plantear la verificación automática de la construcción de los modelos para ver si cumplen restricciones identificadas por el desarrollador, generar documentación del sistema en diferentes formatos de partes de los modelos, e incluso establecer la generación automática de código desde la información recogida en los *modelos*.

La dinámica del sistema especifica cómo evoluciona la organización a lo largo del tiempo indicando el modo en que los agentes entran y salen de la organización de forma dinámica; adoptan determinados roles en función de sus capacidades y habilidades; y participan en aquellas unidades o agrupaciones de la organización en las que sean admitidos buscando satisfacer sus objetivos.

El proceso de instanciación de los meta-modelos (esto es, la producción de los diagramas o modelos que representan cada una de las vistas de un SMA particular) no es trivial, ya que existen muchas entidades y relaciones a identificar, además de dependencias entre distintos modelos. Por ello, INGENIAS define un conjunto de actividades en el proceso de desarrollo de software cuya ejecución termina en la especificación final del SMA. Estas actividades están organizadas de acuerdo con las relaciones entre los meta-modelos de INGENIAS con los elementos que incorpora la metodología *Rational Unified Process* (RUP) [14]. En la tabla 1, se puede observar cada una de las actividades que tienen lugar en las fases de inicio, elaboración y construcción.

**Tabla 1.** Adecuación de las etapas del RUP a los meta-modelos de INGENIAS

		FASES		
		Inicio	Elaboración	Construcción
FLUJOS DE TRABAJO FUNDAMENTALES	Análisis	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Generar casos de uso e identificar realizaciones de los casos de uso con modelos de interacciones.</li> <li>- Esbozar la arquitectura con un modelo de organización.</li> <li>- Generar modelos del entorno para trasladar la captura de requisitos a los modelos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Refinar casos de uso.</li> <li>- Generar modelos de agente para detallar los elementos de la arquitectura.</li> <li>- Continuar con los modelos de organización identificando flujos de trabajo y tareas.</li> <li>- Modelos de tareas y objetivos para generar restricciones de control (objetivos principales, descomposición de objetivos).</li> <li>- Refinar modelo de entorno para incluir nuevos elementos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Estudiar resto de casos de uso.</li> </ul>
	Diseño	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Generar un prototipo con herramientas de prototipado rápido, como ZEUS o Agent Tool.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Centrar el modelo de organización en el desarrollo de flujos de trabajo.</li> <li>- Llevar las restricciones identificadas a modelos de tareas y objetivos para dar detalles acerca de las necesidades y resultados de las tareas y su relación con los objetivos del sistema.</li> <li>- Expresar la ejecución de tareas dentro de modelos de interacción.</li> <li>- Generar modelos de agente para detallar <i>patrones de estado mental</i>.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Generar nuevos modelos de agente o refinar los existentes.</li> <li>- Depurar la organización centrandolo el desarrollo en las relaciones sociales.</li> </ul>

**Fuente:** Modelado de Sistemas Multi-Agente, 2002 [14].

En la fase de Diseño-Inicio, se propone elaborar un prototipo con un entorno de desarrollo como ZEUS o Agent Tool [14]. Sin embargo, esta fase es opcional, ya que muestra la arquitectura tentativa del sistema, obtenida en la fase de Análisis-Inicio a través de una herramienta de prototipado rápido que permite visualizar de forma general el comportamiento del sistema que se está diseñando.

Como se mostró anteriormente, el RUP proporciona unos pasos o actividades a desarrollar para el inicio, elaboración y construcción de un SMA. Es necesario tener en cuenta que no es obligatorio seguir estas actividades en el orden expuesto, debido a que la metodología INGENIAS es bastante flexible y permite comenzar el modelado por cualquiera de sus actividades, dependiendo del problema a solucionar.

Para terminar, es importante destacar que la metodología INGENIAS tiene una herramienta para el modelado visual, el *INGENIAS Development Kit* (IDK) [14]. Mediante esta herramienta, es posible la construcción de todos los modelos que se precisan de acuerdo con la metodología y contiene módulos que permiten:

- ✓ Generar código: plantillas configurables, marcadas con XML, para distintas plataformas de agentes como Jade, Robocode, Servlets, Agentes grasia
- ✓ Verificar y validar especificaciones
- ✓ Generar documentación (HTML)
- ✓ Armazón para desarrollar módulos personalizados

## **2.2 ARQUITECTURA BDI (Beliefs, Desires, Intentions)**

Según la arquitectura BDI [17], los seres humanos tienden a enfocar sus acciones siguiendo una pauta concreta: cuál es la situación actual (beliefs: creencias), qué es lo que se quiere (desires: deseos) y cómo se puede llegar a alcanzar (intentions: intenciones). Siguiendo también el *principio de racionalidad*, las acciones del agente se justifican por los objetivos que persigue, lo cual lleva también a la asociación de tareas y objetivos [14].

En la metodología INGENIAS, los principios del BDI se hallan presentes de diferentes formas. El modelo BDI ha sido importante, como aplicación del *principio de racionalidad*. Los planes, entendidos como secuenciación de tareas, aparecen como flujos de trabajo. Los objetivos han sido introducidos explícitamente, incluyendo su refinamiento en sub-objetivos, el establecimiento de dependencias entre objetivos (inicialmente árboles Y/O) y dependencias con tareas. Su uso se ha extendido a otros modelos como el de organización y el de interacciones, vertebrando la ejecución de tareas e iniciación de interacciones a lo largo de toda la metodología [14].

## 2.3 PATRONES ARQUITECTÓNICOS DE DISEÑO

Los modelos generados para especificar un SMA definen implícitamente un conjunto de patrones arquitectónicos que deben soportarse en la arquitectura final. Los patrones arquitectónicos se entienden como abstracciones de arquitecturas del sistema y sus componentes. Al identificar el conjunto de elementos necesarios para definir el agente y el SMA, se está aludiendo a qué elementos han de estar presentes en la arquitectura que soporte el SMA, cómo se relacionan y qué funcionalidad deben aportar.

Respecto de la arquitectura del agente, los meta-modelos indican que deben existir componentes que representen [14]:

**El estado mental.** Contiene toda aquella información que permite al agente tomar decisiones. Se define el estado mental como agregación de entidades mentales utilizando instancias del modelo de agente. Se distingue entre el estado mental inicial del agente, asociando el agente a una instancia de *estado mental*, y los estados mentales intermedios, asociando una instancia de *consulta autónoma* a una instancia de *estado mental*. El paso del estado mental inicial por cada uno de los intermedios se indica mediante la ordenación de tareas dentro de flujos de trabajo e interacciones, que son las que modifican el estado mental.

**El gestor de estado mental.** Describe cómo se gestionan las entidades mentales. Este gestor completa la definición de la evolución del estado mental estableciendo, por ejemplo, qué ocurre con los objetivos una vez se alcanza, qué entidades ya no son válidas y si se pueden añadir nuevas entidades mentales mientras se está tomando una decisión. Estos aspectos se definen utilizando texto y modelos de tareas y objetivos.

**El procesador de estado mental.** Es el encargado de tomar las decisiones a partir del estado mental. A la descripción textual de este elemento se añade una descripción en forma de modelos y tareas.

**Percepción.** La percepción del agente obliga a que la arquitectura considere la comunicación con elementos anteriores a la construcción del sistema o con nuevos elementos identificados durante el análisis y el desarrollo. La percepción se puede encapsular en un componente o aparecer distribuida en un conjunto de componentes especializados.

**Otros componentes.** Durante el desarrollo aparecen instancias de *aplicación* asociadas al agente dentro del modelo de entorno. Estas asociaciones se trasladan a la arquitectura como componentes casi directamente ya que se trata de elementos cuyo desarrollo se hace utilizando técnicas convencionales, como tecnología de objetos.

Respecto a patrones arquitectónicos del SMA, su tratamiento difiere de los agentes. Estos patrones, no implican la existencia de una entidad SMA como componente, ya que en la

mayoría de desarrollos existentes, los componentes asociables al SMA como tal se distribuyen entre los agentes del sistema, buscando sobre todo la descentralización. De cualquier forma, la arquitectura que soporte el SMA, debe tener en cuenta [14]:

**Coordinación.** Las interacciones constituyen el comportamiento del agente cara a otros agentes. Dependiendo de cómo se planteen las interacciones, la arquitectura deberá soportar comunicación síncrona, asíncrona, dirigida por datos o dirigida por mecanismos de control. Además, hay que tener en cuenta que el agente puede participar en varios procesos de coordinación simultáneos, por lo que serán necesarios mecanismos de gestión de sesiones de comunicación.

**Restricciones sociales.** Las restricciones sociales se observan en la implementación mediante elementos que limiten las actuaciones o las percepciones de los agentes. Estas restricciones pueden aparecer como condiciones adicionales para la ejecución de tareas o como componentes arquitectónicos que inhiben al agente.

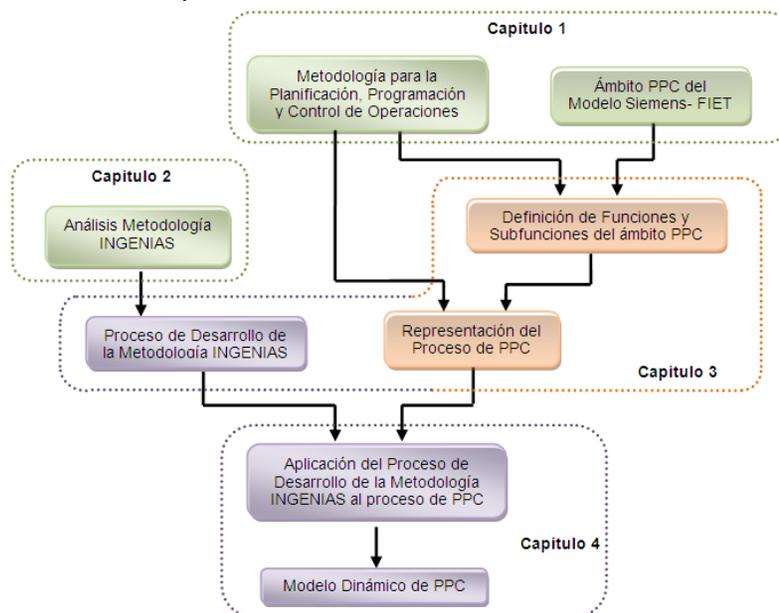
**Funcionalidad.** La funcionalidad del sistema se recoge principalmente en tareas, flujos de trabajo y objetivos. La existencia de tareas en la arquitectura final es difícil de evitar. Sin embargo, en el caso de los flujos de trabajo y los objetivos, se pueden obviar. Algunas metodologías consiguen omitir los objetivos igualando un rol a un objetivo durante la implementación. Los flujos de trabajo, aunque no aparezcan explícitamente, estarán presentes en la arquitectura como asociación entre tareas.

**Estructuración del sistema.** El modelo de organización proporciona una estructuración de elementos que sirve de partida a la hora de elaborar la arquitectura final del sistema. La estructuración en *grupos* es similar a la estructuración en paquetes aplicada en JAVA. A diferencia de los paquetes JAVA, la inclusión de los grupos en la organización se rige por la conveniencia de la agrupación en tanto se facilite la consecución de los objetivos de la organización. La arquitectura final del sistema respetará esta estructura y proporcionará, si fuera necesario, mecanismos de gestión de los miembros de la organización así como servicios de localización.

### 3. PROCESO DE DESARROLLO PARA LA OBTENCIÓN DEL MODELO DINÁMICO DE PPC

En este capítulo se presenta el proceso de desarrollo de obtención del modelo dinámico de PPC, el cual requiere la realización de una serie de pasos necesarios para garantizar las propiedades y comportamientos dinámicos en el modelo del proceso de programación y control de la producción como se muestra en la figura 4.

**Figura 4.** Pasos necesarios para la obtención del modelo dinámico de PPC



**Fuente:** propia, mayo de 2010

El objetivo de este capítulo es presentar cómo se obtiene el modelo estructural (naranja) y el modelo dinámico (morado) del proceso de Programación y Control de la Producción a partir de una base conceptual (verde) constituida por la estructura de PPC del modelo Siemens-FIET y las metodologías de soporte.

El desarrollo de modelos dinámicos es un proceso complejo que implica el modelado dinámico con base a un modelo de referencia, por ello el modelado de PPC se referencia en el Modelo Siemens-FIET mencionado en el Capítulo 1. El ámbito funcional de PPC del Modelo Siemens-FIET no define los flujos de información internos, funciones y subfunciones, lo cual impide establecer la secuencia del proceso.

Para lograr una representación interna del proceso de PPC que indique una secuencia de subfunciones, se adopta la Metodología para la Planificación, Programación y Control de las Operaciones expuesta en el Capítulo 1, la cual permite definir funciones y subfunciones del ámbito PPC con el fin de conocer qué realiza cada una de las subfunciones y cómo se relacionan. Es de resaltar que en ninguna de las referencias bibliográficas se especifican estos aspectos, por ello se considera un aporte importante que facilita la comprensión de los procesos internos realizados en el ámbito PPC.

La utilización de la metodología INGENIAS detallada en el capítulo 2, permite el desarrollo del SMA de PPC, el cual proporciona las cualidades dinámicas para el modelo de PPC.

A continuación se presenta la realización de los pasos necesarios para la obtención del modelo dinámico de PPC referentes al capítulo 3, para posteriormente aplicarlos en el capítulo 4.

### **3.1 DEFINICIÓN DE FUNCIONES Y SUBFUNCIONES DE PPC**

El Modelo Siemens-FIET proporciona el modelo de referencia del ámbito PPC mostrado en la figura 1, la cual especifica nueve funciones con sus respectivas subfunciones nombradas en el Anexo A. Mediante la Metodología para la Planificación, Programación y Control de las Operaciones se llegó a la conclusión de no utilizar algunas funciones y subfunciones, debido a que éstas no eran relevantes para el proceso [10]. Además se adicionó una función con sus respectivas subfunciones que se encarga del Pedido Extraordinario. A continuación se describe cada función con sus subfunciones.

**3.1.1 Establecer Programas.** La función Establecer Programas realiza el programa de producción y el programa de embalaje.

***Establecer el programa de producción.*** Esta subfunción recibe de CAP el plan agregado de producción (medio plazo) en unidades de familias de producto, el cual establece la cantidad, el horizonte de planeación y los requerimientos de materia prima a medio plazo. Recibe la orden extraordinaria del cliente, en donde se especifica la cantidad en unidades de familias de producto y el plazo de entrega. Con el plan agregado de producción o la orden extraordinaria se establece qué, cuándo y cuántos elementos o productos terminados deben producirse en determinado periodo para generar el Programa Maestro de Producción (PMP). Además obtiene de CAP los objetivos de costos, y de PE el plan del programa de producción y el proyecto de inversiones, considerada información técnica que permite la desagregación del programa agregado de producción o de la orden de producción extraordinaria descomponiendo las unidades de familias de producto en unidades de productos finales. Hecho esto, será necesario reperiodificarlas en intervalos más cortos, normalmente días o semanas. De esta forma, las cantidades podrán ser desagregadas en el tiempo, reflejando más exactamente las actividades a desarrollar.

Finalmente se obtiene el PMP para que posteriormente se verifique su viabilidad, si recibe la aprobación del PMP se procede a enviarlo para realizar la Planificación de

Componentes, en caso contrario reprograma el PMP. Cuando el Plan de Materiales realizado en la Planificación de Componentes no es viable incluyendo las medidas de ajuste transitorio, recibe solicitud de modificaciones del PMP, si por el contrario, el Plan de Materiales es viable recibe una aprobación, la cual le permite confirmar a VENTAS el plazo de suministro y enviar el PMP para que sea establecido el programa de embalaje.

***Establecer el programa de embalaje.*** Esta subfunción se encarga de generar el programa de embalaje con la información del PMP, con el fin de determinar los recursos necesarios para el empaque del producto. Además tiene en cuenta las especificaciones de embalaje contempladas en la información de producto y proceso Know-How suministrada por CAP. Cuando se genera el programa de embalaje se envía a EMBALAJE.

**3.1.2 Pedido Extraordinario.** El proceso de atender el pedido extraordinario no se especifica en el modelo Siemens-FIET como una función. Se decidió crearla para considerar cada función del modelo Siemens-FIET como una fase para llevar a cabo el proceso de PPC. La función Pedido Extraordinario contiene la subfunción *2.1 Determinar la Orden de Producción Extraordinaria* mostrada en el ANEXO A y la subfunción *Control y Reserva de Existencias para Pedido Extraordinario* creada para detallar este proceso. Esta función atiende el pedido extraordinario del cliente proveniente de VENTAS, y determina de acuerdo al inventario de producto terminado en ALMACÉN si el pedido es despachado o si genera la orden de pedido extraordinario.

***Control y reserva de existencias para pedido extraordinario.*** Esta subfunción recibe de VENTAS una solicitud para pedido extraordinario que contiene la cantidad, especificaciones de producto y plazos de entrega. Una vez recibida la orden extraordinaria, reserva el producto terminado disponible en ALMACÉN y activa el inventario si hay producto disponible. Este pedido se compara con las existencias de producto terminado en ALMACÉN para determinar si éstas suplen el requerimiento solicitado. Si las existencias suplen el requerimiento de producto terminado, envía a VENTAS la aprobación de retiro de producto terminado y los datos de existencias en ALMACÉN. Si las existencias no suplen el requerimiento, envía los datos de existencias y el pedido extraordinario para que sea determinada la orden de producción extraordinaria.

***Determinar la orden de producción extraordinaria.*** Esta subfunción determina la orden de producción extraordinaria cuando las existencias en ALMACÉN no suplen el requerimiento de producto terminado solicitado por VENTAS. Con los datos de existencias y el pedido extraordinario, calcula la cantidad real a producir (pedido extraordinario - existencias) y envía la orden de producción extraordinaria para realizar el PMP.

**3.1.3 Planificación del Programa de Producción** La función Planificación del Programa de Producción tiene como objetivo examinar la viabilidad del Plan de Materiales generado por la Planificación de Requerimientos de Materiales (MRP), comparando la capacidad necesaria con la capacidad disponible. De acuerdo a estas condiciones se establecen modificaciones en el Plan de Materiales o en el PMP que deben ser consideradas en la

reprogramación, en el caso de no presentarse modificaciones, se efectúa el plan directamente. La disponibilidad de personal, equipo, material y almacenamiento es enviada a CAP.

***Planificación de requerimientos de capacidad del programa de producción, productos de encargo y productos estándar.*** Esta subfunción realiza la Planificación de Requerimientos de Capacidad (CRP) basándose en el PMP, el Plan de Materiales para Fabricación Interior, la lista de materiales, los Ciclos (rutas y tiempos estándar), el estado de la carga, el tiempo en cola y tiempo interoperaciones en cada centro de trabajo, con el objetivo de obtener la capacidad necesaria para cumplir con el Plan de Materiales para Fabricación Interior.

***Chequear la programación frente a la disponibilidad de materia prima.*** Esta subfunción verifica si la cantidad de materia prima requerida para la producción está disponible en almacén. Recibe la lista de materiales reservados para el Plan de Materiales de Fabricación Interior, en donde se especifican los materiales disponibles y las recepciones programadas, con el objetivo de determinar la disponibilidad de materiales. Si el Plan de Materiales para Fabricación Interior no es viable, recibe la capacidad adicional disponible de materia prima generada de las medidas de ajuste transitorio.

***Chequear la programación frente a la capacidad de almacenamiento de producto.*** Esta subfunción verifica si ALMACÉN está en capacidad de almacenar la cantidad de producto que se va a producir. Recibe continuamente de ALMACÉN la capacidad de almacenamiento de producto y el movimiento de almacén para determinar la disponibilidad de almacenamiento. Si el Plan de Materiales para Fabricación Interior no es viable, recibe la capacidad adicional disponible de almacenamiento generada de las medidas de ajuste transitorio.

***Chequear la programación frente a la disponibilidad de personal y equipo.*** Esta subfunción verifica si el personal y el equipo están disponibles para llevar a cabo el Plan de Materiales para Fabricación Interior. Recibe el estado de los recursos para determinar la disponibilidad de personal y equipo. Si el Plan de Materiales para Fabricación Interior no es viable, recibe la capacidad adicional disponible de personal y equipo, generada de las medidas de ajuste transitorio.

***Modificar la programación de la producción horariamente, teniendo en cuenta la capacidad de salida del equipo, mano de obra y disponibilidad de materias primas.*** Esta subfunción realiza las medidas de ajuste transitorio como horas extras, despidos, contrataciones, poner o quitar turnos y subcontrataciones para contrarrestar las necesidades de disponibilidad que no se pudieron suplir con la capacidad disponible existente, y determina si son suficientes para cumplir con la capacidad necesaria para el Plan de Materiales, cuando las medidas de ajuste transitorio contrarrestan las necesidades de capacidad que faltaron por suplir, informa a PE las necesidades de personal, plantilla de personal y capacidad necesaria para ajuste transitorio. Si la capacidad generada por las alternativas de ajuste transitorio es suficiente, envía la capacidad adicional disponible a las subfunciones que la requieran. Si no son suficientes,

solicita modificaciones en el Plan de Materiales para Fabricación Interior y Exterior, si este plan ya ha sido modificado, solicita modificaciones del PMP, enviando la capacidad disponible para ambos casos.

**Control de las actividades previas de diseño, procesos de trabajo.** Esta subfunción controla las actividades previas de diseño y procesos de trabajo para asegurar que los procedimientos y especificaciones entregados por CAP (Producto y proceso Know-How) se cumplan y garanticen una adecuada ejecución del programa de producción. Además, tiene acceso a los DATOS MAESTROS para obtener información sobre los tiempos interoperacionales entre cada centro de trabajo y los tiempos en cola en cada centro de trabajo. Una vez obtenida esta información genera los ciclos (rutas y tiempos estándar) de producción.

**3.1.4 Planificación de Cantidades.** Esta función calcula los componentes necesarios y las materias primas a comprar o reservar para poder satisfacer el Plan de Materiales. Además, determina cuándo se deben liberar ordenes de compra de cada artículo con el fin de entregar la cantidad completa en la fecha indicada.

**Cálculo de aprovisionamiento.** Esta subfunción a partir de las necesidades controladas por el consumo y del Plan de Materiales de Fabricación Exterior, calcula el programa de aprovisionamiento con las cantidades y fechas de cumplimiento teniendo en cuenta el tiempo de suministro.

**Determinación de las necesidades controladas por el consumo.** Esta subfunción recibe las necesidades de materiales como piezas de repuesto y suministros industriales provenientes de CONSERVACIÓN necesarios para el correcto funcionamiento de la producción, con el objetivo de determinar las necesidades controladas por el consumo.

**Selección de proveedores.** Esta subfunción resume el comportamiento de los proveedores respecto a los tiempos de suministro, precio y calidad, sirviendo de gran ayuda a COMPRAS para la elección del proveedor. Para la obtención de este tipo de información basta con que guarde información relativa a los pedidos externos que se han realizado. Además recibe el programa de aprovisionamiento y accede a los DATOS MAESTROS para obtener información sobre los suministradores, de esta forma genera la lista de proveedores de acuerdo al programa de aprovisionamiento.

**Control de existencias de almacén.** Esta subfunción determina si ALMACÉN dispone de existencias como producto terminado, recepciones programadas, cantidades comprometidas y lanzamiento de pedidos planificados, para realizar el Plan de Materiales y generar la lista de materiales a reservar.

**Reserva de materiales.** Esta subfunción reserva en ALMACÉN los materiales indicados en la lista de materiales a reservar para que posteriormente sean considerados en la

realización del plan de requerimiento de materiales. Además realiza el análisis ABC para categorizar los recursos según su importancia y utilización.

***Acumular y calcular costos de materia prima, mano de obra, energía y otros costos para transmisión a contabilidad.*** Esta subfunción recibe el balance de inventario generado por la gestión de existencias y los costos de producción para calcular y enviar los costos totales de producción a CI. Además envía el precio de fabricación a VENTAS, y tiene acceso a los DATOS MAESTROS para obtener información relevante para calcular costos.

***Generar la propuesta de pedido de materiales y energía basado en requerimientos a corto plazo.*** Esta subfunción genera la propuesta de pedido de materiales de fabricación exterior basado en el programa de aprovisionamiento con proveedores seleccionados.

**3.1.5 Programación de Materiales.** Esta función es la encargada de convertir el PMP en Planes de Materiales para Fabricación Interior y Exterior.

***Desglose de lista de piezas, composiciones.*** Esta subfunción descompone el producto en diferentes piezas obteniendo la lista de materiales la cual muestra la secuencia en la que se fabrican y unen las materias primas, las partes que se compran y las unidades necesarias para formar el producto final. Recibe de CAP información de producto y proceso Know-How y accede a los DATOS MAESTROS para obtener información sobre listas de piezas, estructuras de producto, datos de materiales y planos de trabajo, para que finalmente genere la lista de materiales en donde describe los componentes, cantidades, plazos de obtención, y los procesos correspondientes.

***Determinación de las necesidades brutas y netas.*** Esta subfunción realiza la explosión del PMP a partir de la lista de materiales, con el fin de determinar las necesidades de componentes y lotificación, generalmente en dos fases, primero las necesidades brutas, sin tener en cuenta las existencias disponibles, y a continuación las necesidades netas las cuales se obtienen de restar las existencias de materiales y las recepciones programadas (planes de fabricación exterior e interior que ya fueron solicitados) a las necesidades brutas. Con esta información genera el Plan de Materiales para Fabricación Exterior y el Plan de Materiales para Fabricación Interior. Cuando el Plan de Materiales para Fabricación Interior no es viable modifica el Plan de Materiales.

**3.1.6 Programación de la Fabricación.** La función Programación de la Fabricación tiene como objetivo examinar la viabilidad del PMP, comparando la capacidad necesaria con la capacidad disponible. De acuerdo a estas condiciones se establecen modificaciones en el PMP o en el Plan Agregado de Producción que deben ser consideradas en la reprogramación, en el caso de no presentarse modificaciones, se efectúa el plan directamente.

***Determinación del tiempo de ciclo.*** Esta subfunción recibe de CAP la información de producto y proceso Know-How que contiene las rutas de productos finales y

componentes, y tiempos de carga unitarios de cada una de las operaciones, además establece la capacidad nominal de producción. Al determinar el tiempo de ciclo se parte de una capacidad ilimitada. Además tiene acceso a los DATOS MAESTROS para obtener información sobre los tiempos interoperacionales entre cada centro de trabajo y los tiempos en cola en cada centro de trabajo.

***Cálculo de la capacidad necesaria, ajuste.*** Esta subfunción proporciona una primera visión aproximada de cuáles serían las necesidades de ciertos recursos clave si se ejecutara el PMP tal y como está concebido en ese momento. Recibe el PMP, a través del cual se marcan las características del Plan Aproximado de Capacidad, en el que se trabaja con unidades de producto por semana en unidades productivas concretas, tales como un taller, un centro de trabajo, o incluso, un pequeño grupo de máquinas. Además recibe el tiempo de ciclo para determinar la capacidad necesaria para el PMP propuesto.

***Determinación de las necesidades del exterior.*** Esta subfunción contiene alternativas de ajuste transitorio como horas extras, despidos, contrataciones, poner o quitar turnos y subcontrataciones para contrarrestar las necesidades de disponibilidad que no se pudieron suplir con la capacidad disponible existente provenientes de la evaluación de viabilidad del PMP propuesto, y determina si son suficientes para cumplir con la capacidad necesaria para el PMP. Cuando las medidas de ajuste transitorio contrarrestan las necesidades de capacidad que faltaron por suplir se informa a PE las necesidades de personal, plantilla de personal y capacidad necesaria para ajuste transitorio. Si la capacidad generada por alternativas de ajuste transitorio es suficiente, envía la capacidad adicional generada para llevar a cabo el PMP. De lo contrario solicita modificaciones en el PMP teniendo en cuenta la capacidad disponible. Si el PMP ha sido modificado, solicita a CAP modificaciones en el Plan Agregado de Producción teniendo en cuenta la capacidad disponible.

***Determinación de la capacidad disponible (aproximada).*** Esta subfunción recibe el estado de los recursos (involucrado, disponible e inalcanzable) para determinar qué recursos están disponibles y cuándo van a estar disponibles los recursos involucrados. Cuando el PMP no es viable recibe la capacidad adicional disponible para contrarrestar la capacidad necesaria que no se logró suplir, ésta la adiciona a la capacidad disponible existente.

***Determinación del porcentaje de estado de la capacidad (involucrada, disponible e inalcanzable).*** Esta subfunción recibe información sobre la Capacidad de Producción y el estado de los recursos para calcular el porcentaje de estado de la capacidad. Esta información es suministrada de la producción que se está ejecutando (producción actual). Proporciona información sobre la capacidad (comprometida, disponible o inalcanzable) del recurso (material, equipo o personal) de producción. La cual está especificada por recursos y lapsos de tiempo definidos.

**3.1.7 Lanzamiento de la Orden de Trabajo.** Esta subfunción recibe el Plan de Materiales, el cual indica qué recursos de producción (equipo, personal y material) deben participar en el proceso de producción, con el objetivo de redactar las ordenes de fabricación exterior e interior.

***Redacción de la orden.*** Esta subfunción realiza la redacción de la orden de trabajo de fabricación interior, la cual está conformada por un conjunto de ordenes listas para ser ejecutadas en un periodo específico de tiempo en los diferentes centros y unidades de trabajo. Recibe el Plan de Materiales para Fabricación Interior a través del cual genera la orden de trabajo para que sea autorizada.

***Pedido exterior.*** Esta subfunción realiza el pedido exterior si el Plan de Materiales de Fabricación Interior es viable. Recibe la propuesta de pedido de materiales y envía a COMPRAS los requerimientos para la orden de compra de materiales y energía a corto plazo. Además informa a CONSERVACIÓN el plazo de entrega de los materiales para mantenimiento.

***Autorización de la orden de trabajo en el taller.*** Esta subfunción autoriza la orden de trabajo en el taller teniendo en cuenta el estado de la orden de trabajo anterior (ejecución adecuada, paradas, fallas, etc.) obtenido del seguimiento de la producción. Si la producción se está ejecutando adecuadamente envía la orden de trabajo autorizada y la reserva de medios de producción para pedido normal o extraordinario a CF. Adicionalmente para pedido extraordinario envía una modificación de la orden en proceso, indicando la parada de la ejecución normal para atender el pedido extraordinario. Si existen paradas de proceso que no puedan superarse en el periodo programado se envía a CF la anulación de la orden de trabajo. Las ordenes de trabajo para producción normal y extraordinaria contienen la activación de inventario para CF, por medio de la cual actualiza el inventario indicando la cantidad de producto en proceso y producto terminado cada vez que inicia la producción.

**3.1.8 Seguimiento de la Orden de Trabajo.** La función Seguimiento de la Orden de Trabajo resume y reporta información acerca del material consumido, personal y equipo realmente usado en la ejecución de la orden de trabajo, información de posibles fallas de producción, así como también otros datos de producción relevantes acerca de los costos generados.

***Control de avance de la orden de trabajo.*** Esta subfunción recibe el progreso de la orden de trabajo de la producción actual de CF con el objetivo de evaluar la situación real del sistema productivo y su evolución, comparando lo planeado con lo ejecutado, para informar fallas y paradas en el proceso, las cuales pueden modificar o anular la planeación propuesta. Recibe de CF el progreso de la orden de trabajo del programa de producción ejecutado (cuando se ha lanzado la orden de producción) con el fin de enviar la realimentación técnica del proceso a CAD e informar los costos generados por la producción.

**Revisión de cuellos de botella.** Esta subfunción examina las actividades que disminuyen la velocidad de los procesos, incrementan los tiempos de espera y reducen la productividad, trayendo como consecuencia final el aumento en los costos. Los cuellos de botella se presentan tanto en el personal como en la maquinaria, debido a diferentes factores como falta de preparación, entrenamiento o capacitación en el caso del personal, o la falta de mantenimiento apropiado para el caso de las máquinas y equipos. Recibe de CF los resultados de la ejecución del programa y la cantidad y causa de rechazos para informar cuellos de botella a PE.

**Seguimiento de cargas.** Esta subfunción supervisa la asignación de tareas a cada recurso en el taller teniendo en cuenta el tiempo de preparación y de funcionamiento requerido. Determina con exactitud que hará cada recurso en cada momento durante la orden de trabajo. El seguimiento de las cargas de trabajo por máquina o por centro de trabajo, permite controlar conflictos de exceso de trabajo. Recibe de CF datos de producción de la producción actual con el fin de enviar información de las cargas para realizar la Planeación de Requerimientos de Capacidad e informar a CAP el perfil de cargas.

**Comunicación de recepción de mercancías, supervisión de la capacidad de producción.** Esta subfunción informa la llegada a Almacén de materiales e insumos, así como supervisa la capacidad de producción en el taller informando sobre los recursos disponibles, comprometidos e inalcanzables para definir la disponibilidad de materia prima, personal y equipo. Recibe de CF la comunicación de disponibilidad de la producción actual con el fin de informar el estado de los recursos para realizar la Planificación de la Capacidad Aproximada y la Planificación de Capacidad Detallada del programa de producción. Además obtiene de COMPRAS la comunicación de entrada de mercancías o retraso en el plazo de suministros, y de CF la comunicación de disponibilidad del programa de producción ejecutado para enviar a ALMACÉN la activación de inventario por recepción de mercancías y a CAP la disponibilidad de los recursos.

**Supervisión de la orden de trabajo en el taller, conforme al pedido del cliente.** Esta subfunción supervisa el proceso de producción en el taller con el fin de garantizar la cantidad de producto solicitado por el cliente en el plazo de entrega indicado. Recibe el progreso de la orden de trabajo de CF para informar a VENTAS el progreso del pedido del cliente, la comunicación de terminación y precio de fabricación.

**3.1.9 Inventario.** La función Inventario da a conocer a la empresa el valor de los productos que tiene en sus almacenes para planificar a corto plazo sus necesidades en el ámbito productivo, comercial y financiero.

**Calcular y reportar el balance de inventarios, pérdidas de materia prima y utilización de energía.** Esta subfunción examina la información recibida respecto al inventario (materiales, materia prima y producto terminado), las pérdidas de materia prima y utilización de energía provenientes del inventario permanente e inventario de fecha fija para después reportar el balance de inventarios.

**Inventario fecha fija.** Esta subfunción define el periodo durante el cual se realiza el registro de inventario disponible y se aplican los costos unitarios para determinar el costo de inventario final.

**Inventario permanente.** Esta subfunción permite un control constante de los inventarios, al llevar el registro de cada unidad que ingresa y sale de ALMACÉN, su valor de compra, la fecha de adquisición y el valor de la salida de cada unidad. De esta forma, en todo momento se puede conocer el saldo exacto de los inventarios y el valor del costo de venta. Recibe de ALMACÉN información sobre la diferencia de inventario, movimiento de almacén y variación de existencias, y de CF recibe los datos de inventario (producto en proceso y producto terminado) para actualizar datos de inventario. Cada vez que se retire, reserve o produzca materiales o producto terminado se activará el inventario permanente. Informa las existencias de material, las recepciones programadas, cantidades comprometidas, recepción de pedidos planificados y lanzamiento de pedidos planificados. Además del control permanente de los inventarios, esta subfunción permite la determinación del costo al momento de hacer la venta, debido a que en cada salida de un producto, se registra su cantidad y costo. De esta manera informa la cantidad, estado y costos de inventario permanente.

### 3.2 REPRESENTACIÓN INTERNA DE PPC

A partir de la definición de funciones y subfunciones realizada anteriormente se identifican los flujos de información internos obteniendo una secuencia de ejecución de subfunciones para el proceso de PPC, representada a través del diagrama de flujo del proceso de PPC mostrado en la figura 5. A continuación se realiza la descripción del diagrama de flujo del ámbito funcional PPC, en el cual se especifican las funciones, subfunciones, flujos de información internos y externos necesarios para llevar a cabo el Proceso de Programación y Control de la Producción; además, la representación permite ver la evolución del proceso en el tiempo. Para diferenciar los flujos de información externos se utiliza el código de colores mostrado en la tabla 2.

**Tabla 2.** Código de colores para los ámbitos funcionales

ÁMBITO FUNCIONAL	COLOR
CAD	
CI	
COMPRAS	
VENTAS	
PE	
CAP	
PPC	
ALMACÉN	
CONSERVACIÓN	
EMBALAJE	
CF	

**Fuente:** propia, marzo de 2010

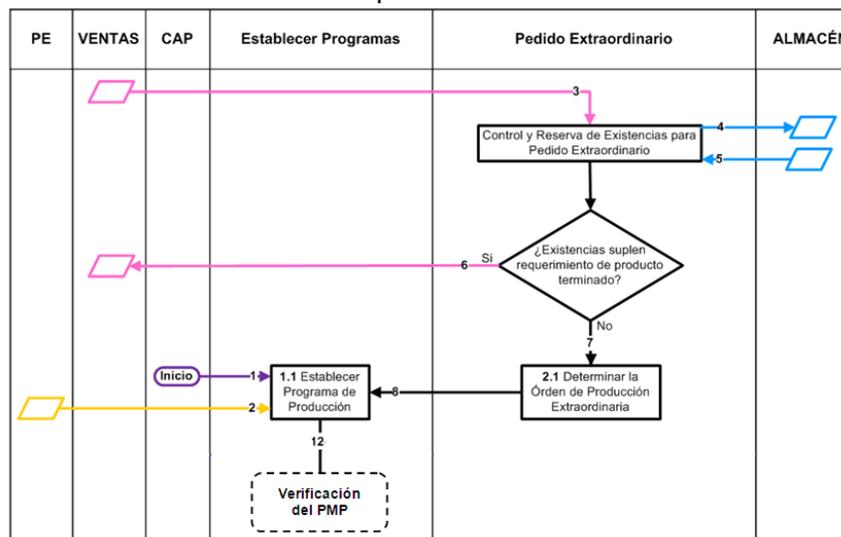
**Figura 5.** Diagrama de flujo del proceso de PPC

La representación del proceso de PPC proporciona un nivel de detalle mayor del proceso de Programación y Control de la Producción, por ello la descripción del diagrama de flujo es muy extensa. Para facilitar la comprensión del diagrama de flujo se ha dividido el proceso de PPC en las siguientes fases:

**3.2.1 Obtención del PMP:** esta fase puede iniciar por dos situaciones mostradas en figura 6:

1. La Planificación a medio plazo realizada por CAP, la cual contiene el Plan Agregado de Producción y los Objetivos de Costos.
2. El pedido extraordinario del cliente a corto plazo proveniente de VENTAS.

**Figura 6.** Fase de obtención de PMP del proceso de PPC



**Fuente:** propia, marzo de 2010

En la primera situación, los flujos 1. *Plan Agregado de Producción, Objetivos de Costos* y 2. *Proyecto de Inversiones, Plan del Programa de Producción* provenientes de CAP y PE respectivamente se dirigen a la subfunción **1.1. Establecer el Programa de Producción** para la elaboración del PMP para producción normal y envía el flujo 12. *Programa Maestro de Producción (PMP)* a la fase de Verificación del PMP.

En la segunda situación, el flujo 3. *Pedido Extraordinario (Cantidad y Especificaciones de producto)*, *Programa de ventas (plazos de entrega al cliente)*, *Solicitud: Consulta de existencias y plazo de suministro* proveniente de VENTAS se dirige a la subfunción **Control y Reserva de Existencias para Pedido Extraordinario**, la cual envía a ALMACÉN el flujo 4. *Consulta de existencias en Almacén de producto, reserva de producto, activación de Inventario* y obtiene como respuesta el flujo 5. *Inventario de*

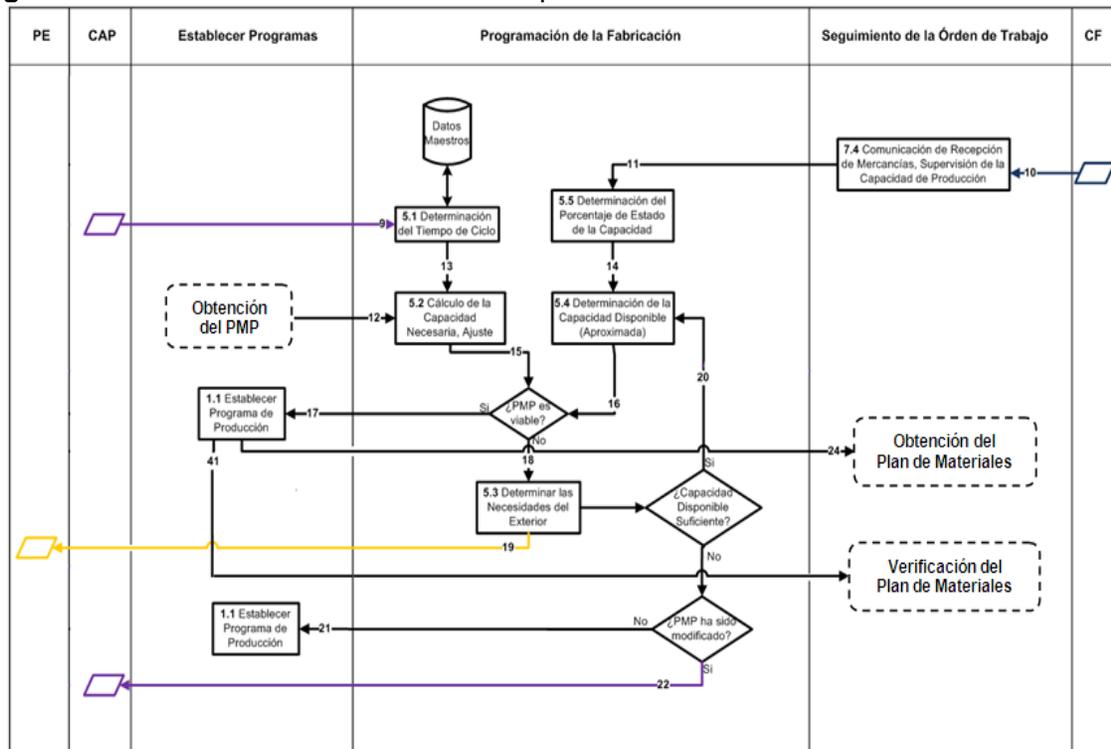
*Producto Terminado*, de acuerdo a esta información se determina si las existencias suplen el requerimiento de producto terminado solicitado. Si las existencias suplen el requerimiento se envía el flujo 6. *Aprobación retiro de Almacén de pedido extraordinario, datos de existencias* a VENTAS para su posterior despacho. Si por el contrario, las existencias no suplen el requerimiento, se envía el flujo 7. *Datos de existencias, pedido extraordinario* a la subfunción **2.1 Determinación de la Orden de producción Extraordinaria** para establecer una orden de producción extraordinaria teniendo en cuenta las existencias, como resultado envía el flujo 8. *Orden de producción extraordinaria* a la subfunción **1.1. Establecer el Programa de Producción** para la elaboración del PMP para producción extraordinaria y envía el flujo 12. *Programa Maestro de Producción (PMP)* a la fase de Verificación del PMP.

**3.2.2 Verificación del PMP:** obtenido el PMP, en esta fase se procede a realizar la Planificación Aproximada de Capacidad como se muestra en la figura 7, para ello, se recibe de CAP el flujo 9. *Información Producto y proceso Know-How* el cual se dirige a la subfunción **5.1 Determinación del Tiempo de Ciclo**, esta subfunción accede a los DATOS MAESTROS (cada vez que se accede a los Datos Maestros, se obtiene información de la producción pasada, para realizar la programación de la producción actual) para obtener información de los tiempos de producción, después de procesar la información envía como resultado el flujo 13. *Tiempo de ciclo* a la subfunción **5.2 Cálculo de la Capacidad Necesaria, Ajuste**. Al mismo tiempo CF envía el flujo 10. *Comunicación de Disponibilidad* a la subfunción **7.4 Comunicación de Recepción de Mercancías, Supervisión de la Capacidad de Producción**, la cual analiza la información y envía el flujo 11. *Estado de los recursos (Disponible, involucrado e inalcanzable)* a la subfunción **5.5 Determinación del Porcentaje de Estado de la Capacidad**, esta subfunción procesa la información y envía como resultado el flujo 14. *Porcentaje de estado de la capacidad* a la subfunción **5.4 Determinación de la Capacidad Disponible (Aproximada)**. La función **5.2 Cálculo de la Capacidad Necesaria, Ajuste** adicionalmente recibe el flujo 12. *Programa Maestro de Producción (PMP)* de la subfunción **1.1. Establecer el Programa de Producción**.

Las subfunciones **5.2** y **5.4** procesan la información y obtienen como resultado los flujos 15. *Capacidad Necesaria* y 16. *Capacidad Disponible* respectivamente, los cuales se comparan para determinar si la capacidad disponible es suficiente y de esta forma contrarrestar la capacidad necesaria para ejecutar el PMP y así determinar su viabilidad. Si el PMP es viable se envía el flujo 17. *Aprobación de PMP* a la subfunción **1.1. Establecer el Programa de Producción** y continúa la Planificación de Materiales enviando el flujo 24. *PMP* a la fase de Obtención de Plan de Materiales y Verificación de Plan de Materiales. Si no es viable, debido a que la capacidad disponible no es suficiente, se envía el flujo 18. *Necesidades de Capacidad que faltan por suplir* a la subfunción **5.3 Determinar las Necesidades del Exterior** para realizar Medidas de Ajuste Transitorio, las cuales se informan a PE por medio del flujo 19. *Necesidades de Personal, Plantilla de Personal, Capacidad Necesaria para Ajuste Transitorio*, siempre y cuando las medidas de ajuste transitorio contrarresten las necesidades que faltan por suplir. Luego se evalúa si la capacidad disponible generada es suficiente. Si es suficiente se envía el flujo 20. *Capacidad Adicional Disponible* a la subfunción **5.4 Determinación de la Capacidad Disponible (Aproximada)** para que sea adicionada a la capacidad disponible y verifique

nuevamente la viabilidad del PMP. Si la capacidad disponible generada no es suficiente se evalúa si el PMP ya ha sido modificado, si el PMP no se ha modificado se envía el flujo 21. *No es viable PMP, solicitud de modificaciones del PMP (fechas de aplazo), Información de capacidad Disponible* a la subfunción **1.1. Establecer el Programa de Producción** para reprogramar el PMP, si el PMP ya ha sido modificado se envía el flujo 22. *No es viable el Plan Agregado de Producción, solicitud de modificaciones del Plan Agregado, Información de Capacidad Disponible* a CAP para reprogramar el Plan Agregado de Producción.

**Figura 7.** Fase de verificación del PMP del proceso de PPC

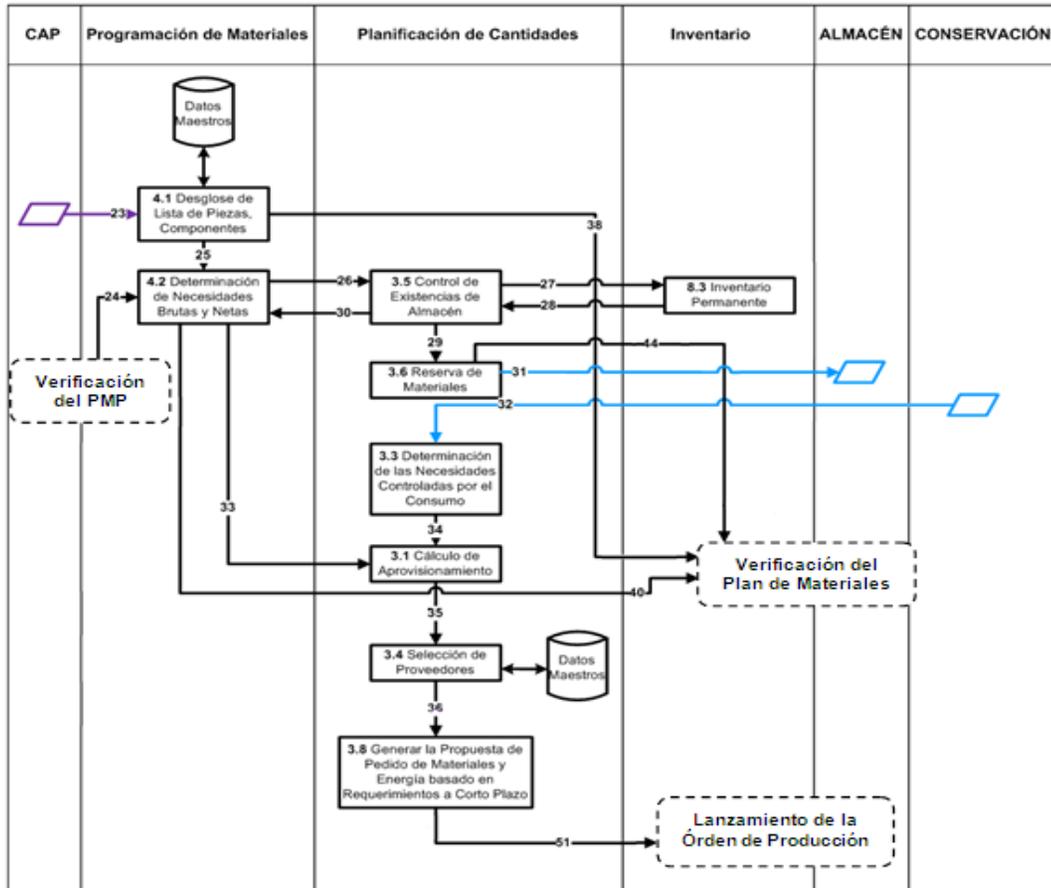


Fuente: propia, marzo de 2010

**3.2.3 Obtención del Plan de Materiales:** En esta fase se procede a realizar la Planificación de Materiales como se muestra en figura 8, para ello, el flujo 23. *Información de producto y proceso Know-How* proveniente de CAP es enviado a la subfunción **4.1 Desglose de Lista de Piezas, Componentes**, la cual accede a los DATOS MAESTROS para obtener información y determinar las piezas o componentes necesarios para obtener un producto y envía el flujo 25. *Lista de Materiales* a la subfunción **4.2 Determinación de Necesidades Brutas y Netas**, esta subfunción, también recibe de la subfunción **1.1 Establecer el Programa de Producción** el flujo 24. *PMP* para determinar necesidades de material cuando el PMP ha sido aprobado. De acuerdo a la información suministrada genera el Plan de Materiales de Fabricación Interior, el cual especifica los materiales necesarios para llevar a cabo el PMP, para verificar estos materiales, envía el flujo 26. *Consulta de existencias de materiales y componentes* a la subfunción **3.5 Control de**

**Existencias de Almacén**, para verificar los materiales necesarios para el PMP, la cual envía el flujo 27. *Solicitud de información de disponibilidad de inventario* a la subfunción **8.3 Inventario Permanente** para responder a esta consulta, y recibe de ésta el flujo 28. *Respuesta de solicitud de disponibilidad de inventario (materiales disponibles, cantidades comprometidas, recepciones programadas, recepción y lanzamiento de pedidos planificados)*. A partir de esta información envía flujo 29. *Lista de materiales a reservar (materiales disponibles y recepciones programadas)* a la subfunción **3.6 Reserva de Materiales** para que se autorice la salida de los materiales disponibles hacia el proceso de producción por medio del flujo 31. *Reserva de materiales, activación de inventario y lista de encargos* hacia ALMACÉN. Adicionalmente la subfunción **3.5 Control de Existencias de Almacén** envía el flujo 30. *Información de disponibilidad de inventario* a la subfunción **4.2 Determinación de Necesidades Brutas y Netas** analiza la información y si las existencias necesarias para llevar a cabo el PMP no son suficientes se genera el Plan de Materiales para Fabricación Exterior. Posteriormente el Plan de Materiales para Fabricación Interior se envía a la fase de Verificación de Plan de Materiales y Plan de Materiales para Fabricación Exterior debe contener información adicional, por ello, el flujo 32. *Necesidades de material para Conservación (Piezas de repuesto y suministros industriales)* proveniente de CONSERVACIÓN lo recibe la subfunción **3.3 Determinación de las Necesidades Controladas por el Consumo**, donde procesa esta información y envía el flujo 34. *Necesidades controladas por el consumo* a la subfunción **3.1 Cálculo de Aprovisionamiento**, la cual necesita de la subfunción **4.2 Determinación de Necesidades Brutas y Netas** el flujo 33. *Plan de Materiales para Fabricación Exterior* para enviar el flujo 35. *Programa de aprovisionamiento (Cantidades y fechas de aprovisionamiento)* a la subfunción **3.4 Selección de Proveedores** que accede a los DATOS MAESTROS y procesa la información para determinar los proveedores que cumplen con los requisitos del programa de aprovisionamiento, y enviar el flujo 36. *Programa de aprovisionamiento, lista de proveedores seleccionados* a la subfunción **3.8 Generar Propuesta de Pedido de Materiales y Energía basado en Requerimientos a Corto Plazo** para que finalmente envíe el flujo 51. *Propuesta del pedido de materiales de fabricación exterior* a la fase de Lanzamiento de la orden de producción. El Plan de Materiales de Fabricación Interior debe ser viable, para esto se realiza la Planificación Detallada de Capacidad.

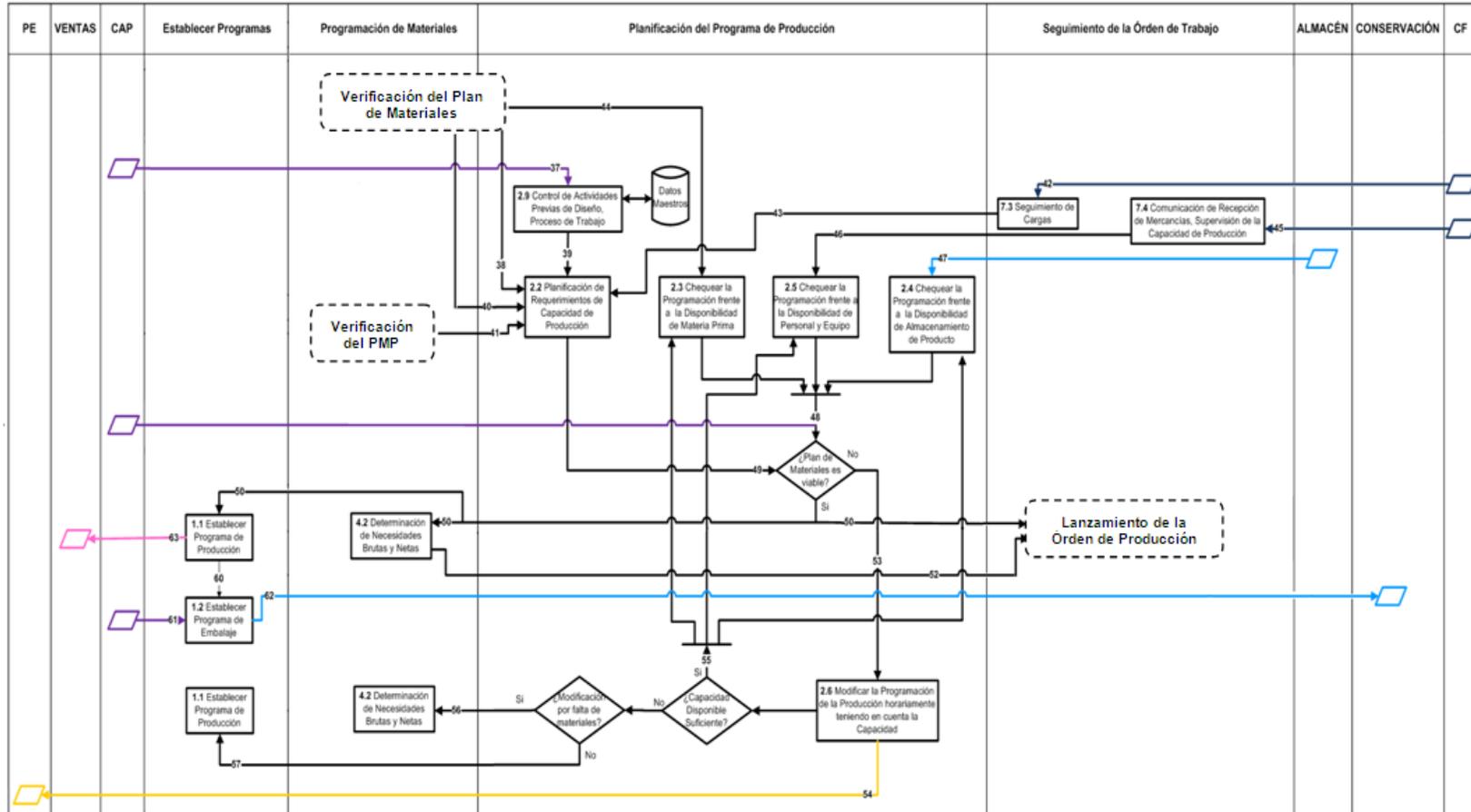
**Figura 8.** Fase de obtención del plan de materiales del proceso de PPC



Fuente: propia, marzo de 2010

**3.2.4 Verificación del Plan de Materiales:** en esta fase, a través de la capacidad necesaria y la capacidad disponible se verifica la viabilidad del Plan de Materiales de Fabricación Interior, estas capacidades se determinan simultáneamente como se muestra en la figura 9. CAP envía el flujo 37. *Información de producto y proceso Know-How* a la subfunción **2.9 Control de Actividades Previas de Diseño, Proceso de Trabajo**, la cual accede a los DATOS MAESTROS y procesa la información para enviar el flujo 39. *Ciclos (Rutas y tiempos estándar)* a la subfunción **2.2 Planificación de Requerimientos de Capacidad de Producción**, esta subfunción también necesita los flujos 38. *Lista de Materiales*, 40. *Plan de Materiales de Fabricación Interior*, 41. *PMP* y 43. *Información de cargas, estado de la carga (en cola, en proceso, esperando traslado)*, de las subfunciones **4.1 Desglose de Lista de Piezas, Componentes**, **4.2 Determinación de Necesidades Brutas y Netas**, **1.1 Establecer el Programa de Producción** y **7.3 Seguimiento de Cargas** respectivamente, con el objetivo de analizar la información y generar el flujo 49. *Capacidad necesaria* para el Plan de Materiales de Fabricación Interior. Es necesario aclarar que la subfunción **7.3 Seguimiento de Cargas** para enviar el flujo anterior debe recibir antes el flujo 42. *Datos de producción* proveniente de CF.

**Figura 9.** Fase de verificación del plan de materiales del proceso de PPC



Fuente: propia, marzo de 2010

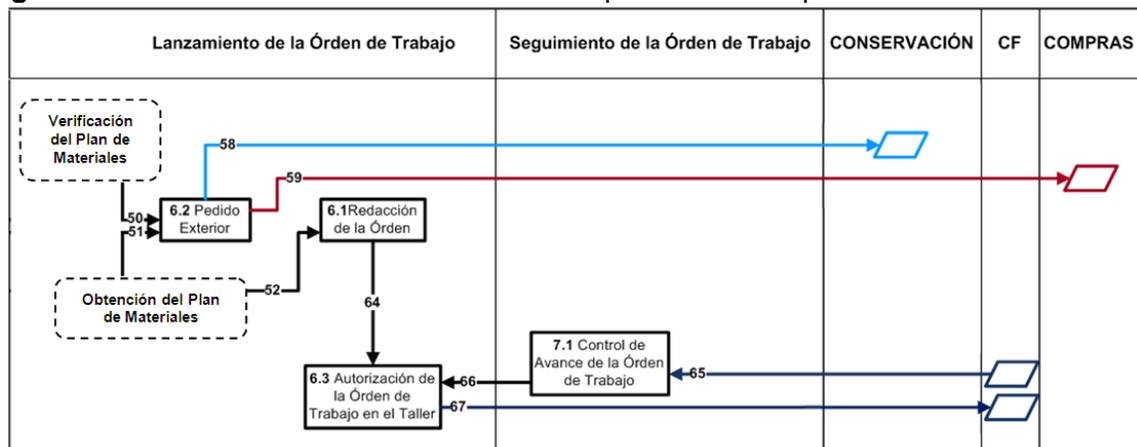
La subfunción **7.4 Comunicación de Recepción de Mercancías, Supervisión de la Capacidad de Producción** recibe de CF el flujo 45. *Comunicación de disponibilidad, procesa la información y envía el flujo 46. Estado de los recursos (Disponible, involucrado e inalcanzable)* a la subfunción **2.5 Chequear la Programación frente a la Disponibilidad de Personal y Equipo**. Simultáneamente se envían los flujos 44. *Lista de Materiales reservados (Disponibles y recepciones programadas)* proveniente de la subfunción **3.6 Reserva de Materiales** y 47. *Capacidad de almacenamiento de producto, movimiento de almacén* proveniente de ALMACÉN hacia las subfunciones **2.3 Chequear la Programación frente a la Disponibilidad de Materia Prima** y **2.4 Chequear la Programación frente a la Disponibilidad de Almacenamiento de Producto** respectivamente.

Cuando las subfunciones **2.3, 2.4 y 2.5** reciben la información anterior, cada una envía un flujo, y estos se agrupan conformando el flujo 48. *Capacidad disponible* para el Plan de Materiales de Fabricación Interior, el cual es enviado a CAP. Una vez obtenida la capacidad necesaria y disponible, indicada en los flujos 49 y 48 respectivamente, se procede a comparar estas capacidades para determinar si el Plan de Materiales es viable. Si el Plan de Materiales es viable se envía el flujo 50. *Aprobación del Plan de Materiales de Fabricación Interior* hacia las subfunciones **6.2 Pedido Exterior, 4.2 Determinación de Necesidades Brutas y Netas** y **1.1 Establecer Programa de Producción** y la fase de Lanzamiento de la Orden de Producción. La subfunción **6.2 Pedido Exterior** necesita este flujo para redactar la orden de compra, la subfunción **4.2 Determinación de Necesidades Brutas y Netas** lo utiliza para enviar el flujo 52. *Plan de Materiales de Fabricación Interior* a la fase de Lanzamiento de la Orden de Producción, y finalmente la subfunción **1.1 Establecer Programa de Producción** lo utiliza para enviar los flujos 63. *Plazo de suministro* a VENTAS, y 60. *PMP* a la subfunción **1.2 Establecer Programa de Embalaje**. Además la subfunción **1.2 Establecer Programa de Embalaje** recibe el flujo 61. *Producto y proceso Know-How (Especificaciones de embalaje)* proveniente de CAP, para generar el programa de embalaje y enviar a EMBALAJE el flujo 62. *Programa de Embalaje*. Si el Plan de Materiales no es viable, se envía el flujo 53. *Necesidades de capacidad que faltan por suplir* a la subfunción **2.6 Modificar la Programación de la Producción horariamente teniendo en cuenta la Capacidad** para determinar las medidas de ajuste transitorio, una vez recibida esta información, procede a enviar a PE el flujo 54. *Necesidades de personal, plantillas de personal, capacidad necesaria* para ajuste transitorio, siempre y cuando las medidas de ajuste transitorio contrarresten las necesidades que faltan por suplir. Cuando la capacidad disponible adicional es suficiente, envía el flujo 55. *Capacidad adicional disponible*, el cual es distribuido a las subfunciones **2.3, 2.5 y 2.4** de acuerdo a la materia prima, personal y equipo, y almacenamiento disponible. Si la capacidad disponible adicional no es suficiente, se debe determinar si la modificación es por falta de materiales, si es así, se envía el flujo 56. *Plan de Materiales no es viable, solicitud de modificaciones en el Plan de Materiales, información de la capacidad disponible* a la subfunción **4.2 Determinación de Necesidades Brutas y Netas** para que se re programe el Plan de Materiales teniendo en cuenta la capacidad disponible. Si la modificación no es por falta de materiales, envía el flujo 57. *PMP no es viable, solicitud de modificaciones en el PMP, información de capacidad disponible* a la subfunción **1.1 Establecer Programa de Producción** para reprogramar el PMP.

**3.2.5 Lanzamiento de la Orden de Producción:** obtenida la Planificación de Materiales y su verificación por medio de la Planificación Detallada de Capacidad, en esta fase se realiza el lanzamiento de la orden de trabajo para fabricación Interior y Exterior como se muestra en la figura 10, los cuales ocurren al mismo tiempo, por medio de las subfunciones **6.1 Redacción de la Orden** y **6.2 Pedido Exterior** respectivamente. La subfunción **6.2 Pedido Exterior** recibe el flujo 50. *Aprobación de Plan de Materiales de fabricación interior* cuando se ha determinado la viabilidad del Plan de Materiales y el flujo 51. *Propuesta de pedido de materiales de fabricación exterior* de la subfunción **3.8 Generar la Propuesta de Pedido de Materiales y Energía basado en Requerimientos a Corto Plazo**. Luego genera el pedido y se envía el flujo 58. *Plazo de entrega de material para mantenimiento a CONSERVACIÓN* y el flujo 59. *Requerimientos para la orden de compra de materiales y energía a corto plazo a COMPRAS*. La subfunción **6.1 Redacción de la Orden** recibe de la subfunción **4.2 Determinación de Necesidades Brutas y Netas** el flujo 52. *Plan de Materiales para Fabricación Interior*, luego redacta la orden y envía el flujo 64. *Orden de trabajo* a la subfunción **6.3 Autorización de la Orden de Trabajo en el Taller** en donde se analiza la orden dependiendo del estado del proceso de la orden anterior, para ello recibe el flujo 66. *Información relevante del progreso de la orden de trabajo para autorización (fallas, paradas de proceso, estado de la orden, etc.)* de la subfunción **7.1 Control de Avance de la Orden de Trabajo**, la cual para poder suministrar esta información debe recibir de CF el flujo 65. *Progreso de la Orden de Trabajo*. La subfunción **6.3 Autorización de la Orden de Trabajo en el Taller** analiza la información recibida y envía a CF el flujo 67:

- Para pedido normal y extraordinario: *Orden de trabajo autorizada, reservas de medios de producción, activación de Inventario*
- Para pedido extraordinario: *Modificación de la orden de trabajo normal (parada y continuación)*
- *Anulación de la orden (si se presentan fallas que ocasionen paradas que no logran superarse en el período programado)*

**Figura 10.** Fase de lanzamiento de la orden de producción del proceso de PPC

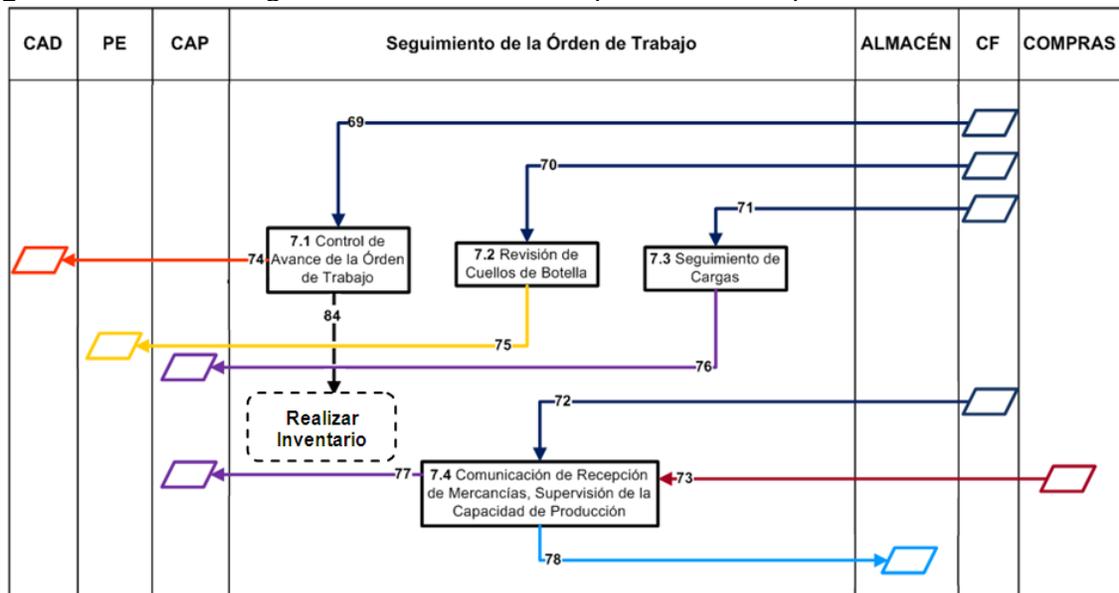


Fuente: propia, marzo de 2010

**3.2.6 Seguimiento de la Orden de Producción:** lanzada la orden de trabajo hacia el proceso, en esta fase se procede a realizar el seguimiento de la orden de trabajo como se muestra en la figura 11, por medio de las subfunciones **7.1 Control de Avance de la Orden de Trabajo**, **7.2 Revisión de Cuellos de Botella**, **7.3 Seguimiento de Cargas** y **7.4 Comunicación de Recepción de Mercancías, Supervisión de la Capacidad de Producción** las cuales reciben al mismo tiempo los flujos 69. *Progreso de la orden de trabajo*, 70. *Resultados de la ejecución del programa de producción, cantidad y causa de rechazos*, 71. *Datos de producción y 72. Comunicación de disponibilidad* respectivamente de CF.

Adicionalmente la subfunción **7.4 Comunicación de Recepción de Mercancías, Supervisión de la Capacidad de Producción** recibe el flujo 73. *Comunicación entrada de mercancías, retraso en el plazo de suministro* de COMPRAS. La subfunción **7.1 Control de Avance de la Orden de Trabajo** procesa la información y envía como resultado el flujo 74. *Realimentación técnica del proceso y producto* a CAD y el flujo 84. *Costos generados por la producción* a la subfunción **3.7 Acumular costos de materia prima, mano de obra, energía y otros costos para transmisión a Contabilidad**. La subfunción **7.2 Revisión de Cuellos de Botella** envía el flujo 75. *Cuellos de botella de recursos de producción* a PE. La subfunción **7.3 Seguimiento de Cargas** envía el flujo 76. *Perfil de cargas* a CAP. La subfunción **7.4 Comunicación de Recepción de Mercancías, Supervisión de la Capacidad de Producción** procesa la información recibida y envía los flujos 77. *Disponibilidad de los recursos* a CAP y 78. *Activación de Inventario por recepción de material* a ALMACÉN.

**Figura 11.** Fase de seguimiento de la orden de producción del proceso de PPC



Fuente: propia, marzo de 2010



### 3.3 PROCESO DE DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA INGENIAS PARA EL ÁMBITO PPC

A través del desarrollo de la metodología INGENIAS, se pretende lograr la obtención de un sistema que, a partir del empleo de agentes inteligentes, mejore el proceso de Programación y Control de la Producción de una empresa de manufactura e incremente la automatización de sus tareas, de forma que explote el dinamismo intrínseco de este tipo de entornos.

En esta sección se muestra el proceso de desarrollo de la metodología INGENIAS para el proceso de Programación y Control de la Producción, para el cual se adoptó el RUP de INGENIAS, éste proporciona las fases y actividades que se deben llevar a cabo en las etapas de análisis y diseño de la metodología, como se mencionó en el Capítulo 2. Este flujo de actividades, parte de un conjunto de casos de uso generales que conllevan a la elaboración de los modelos de Organización, Entorno, Interacciones, Objetivos y Tareas, y Agente, los cuales representan los requisitos y necesidades para establecer el SMA. A continuación, se explican las etapas habituales del proceso de desarrollo RUP: inicio, elaboración y construcción. Cabe mencionar que las actividades que se especifican para cada fase no se desarrollan en el orden propuesto por el proceso de desarrollo RUP, debido a que la metodología INGENIAS es bastante flexible y permite comenzar el modelado por cualquiera de sus actividades, dependiendo del problema a solucionar, en este caso el proceso de PPC; las figuras, tablas y texto obtenidos como resultado de estas actividades se consignan en el capítulo 4.

**3.3.1 Análisis – Inicio.** En esta etapa se identifican los casos de uso más importantes, los cuales reflejan los problemas principales que se van a encontrar y cuáles van a ser los componentes del sistema que participarán en su resolución. Cada caso de uso está compuesto por actores que interactúan con el sistema, los actores pueden ser roles o agentes. Además se realiza una breve descripción de los agentes con el fin de facilitar la identificación de las interacciones en la siguiente fase.

**Estructuración de la Etapa.** La identificación de los componentes del caso de uso se hace mediante un modelo de organización y un modelo de entorno. El modelo de organización proporciona una vista global de cómo se organizan estos elementos, mientras que el modelo de entorno en esta etapa establece con qué elementos del sistema se necesita interactuar. El modelo de entorno se genera ejecutando las actividades de la tabla 3.

**Tabla 3.** Actividades para generar modelo de entorno

Actividad	Tipo de resultado	Referencia
<i>Identificar aplicaciones del entorno (1)</i>	Un conjunto de <i>aplicaciones</i>	Figura 14- pág 47
<i>Asociar operaciones sobre aplicaciones (2)</i>	Operaciones sobre las aplicaciones	
<i>Determinar la percepción de los agentes (3)</i>	Asociaciones entre agentes y <i>aplicaciones</i>	

**Fuente:** Modelado de Sistemas Multi-Agente, 2002 [14]

La arquitectura tentativa de la organización se determina mediante las actividades de la tabla 4.

**Tabla 4.** Actividades para generar arquitectura tentativa del SMA

Actividad	Tipo de resultado	Referencia
Identificar grupos (4)	Un conjunto de <i>grupos</i> que produce la estructuración	Figura 15- pág 48
generar miembros (5)	Elementos que componen los <i>grupos</i> (asociación de los roles a los grupos)	
Identificar objetivos (6).	Objetivos asociados a la organización	

**Fuente:** Modelado de Sistemas Multi-Agente, 2002 [14]

**3.3.2 Diseño-Inicio.** Esta fase muestra la arquitectura tentativa del sistema obtenida en la fase de Análisis-Inicio, a través de una herramienta de prototipado rápido que permite visualizar de forma general el comportamiento del sistema que se está diseñando con el objetivo de obtener los requisitos necesarios para la construcción del SMA. La fase Diseño-Inicio no se realiza para el desarrollo del proyecto ya que el diagrama de flujo del proceso de PPC mostrado en el Capítulo 3 proporciona los requisitos necesarios para modelar este proceso, como son las funciones, subfunciones, ámbitos funcionales relacionados y los flujos de información internos y externos del ámbito PPC.

**3.3.3 Análisis-Elaboración.** En esta etapa se analizan los casos de uso para obtener la arquitectura del sistema, compuesta por la estructura de la organización y los flujos de trabajo fundamentales. Los casos de uso de la etapa anterior se refinan para ofrecer una visión más completa acerca de las distintas tareas que ha de soportar el sistema y se asocian con modelos de interacción para estudiar cómo se llevan a cabo.

**Estructuración de la etapa.** El análisis de los casos de uso refinados anteriormente facilita la identificación de las interacciones en el SMA. El modelo de interacción se construye sobre: agentes, roles, objetivos, interacciones y unidades de interacción. Los agentes y roles son los actores de las interacciones, las unidades de interacción aún no se desarrollan en esta etapa. Además, se justifica la participación de los actores en la interacción y la existencia de la interacción en sí mediante objetivos. Cada modelo de interacción se realiza mediante las actividades de la tabla 5.

**Tabla 5.** Actividades para generar modelo de interacción

Actividad	Tipo de resultado	Referencia
Identificar los objetivos que persigue la interacción (7)	Un conjunto de objetivos identificados en la organización	Figura 17 - pág 53
Identificar su naturaleza (8)	Categoría correspondiente a la interacción	
Identificar los participantes (9)	Un conjunto de participantes (roles para agrupar la funcionalidad)	

**Fuente:** Modelado de Sistemas Multi-Agente, 2002 [14]

De acuerdo al proceso de desarrollo RUP, después de refinar los casos de uso y definir modelos de interacción, se debe generar modelos de agente. Debido a que un agente debe presentar aspectos de autonomía e inteligencia, los cuales son función directa de la especificación del comportamiento del mismo mediante los modelos de interacción, organización, tareas y objetivos, es conveniente antes de realizar el modelo de agente especificar los otros modelos. Realizado los modelos de interacción y la arquitectura tentativa del sistema se define el modelo de tareas y objetivos.

La descomposición y dependencia de objetivos da lugar a árboles Y/O, que están soportados por relaciones de dependencia y descomposición en Y/O. La relación de dependencia en Y, asume que cuando todos los sub-objetivos han sido satisfechos, el objetivo padre puede darse por alcanzado. La relación de dependencia en O, se diferencia en que sólo se requiere que al menos uno de los objetivos referenciados haya sido satisfecho. Estas relaciones también se usan para transmitir un fallo desde un sub-objetivo al objetivo padre. Estas tareas y objetivos aparecen tras la ejecución de las actividades de la tabla 6.

**Tabla 6.** Actividades para generar modelo de tareas y objetivos

Actividad	Tipo de resultado	Referencia
Identificar tareas y objetivos (10)	Un conjunto de tareas y objetivos	Tabla 18 – pág 54
Descomponer objetivos (11)	Asociaciones de descomposición entre objetivos	Figura 18 – pág 55
Establecer dependencias entre objetivos (12)	Dependencias (la satisfacción de objetivos intermedios se realiza mediante dependencias)	
Asociar tareas a objetivos (13)	Asociaciones entre objetivos y tareas	Tabla 19 – pág 56
Asociar tareas con interacciones (14)	Asociaciones de tareas con interacciones que produce	Figura 19 – pág 58
Asociar tareas con entidades producidas (15)	Asociación de tareas con entidades mentales producidas y consumidas	
Asociar tareas con aplicaciones (16).	Asociación de tareas con aplicaciones que usan	

**Fuente:** Modelado de Sistemas Multi-Agente, 2002 [14]

Para conocer mejor los agentes de la organización se elaboran modelos de agente, mediante los cuales es posible describir agentes particulares, sus objetivos, los roles que desempeñan y los estados en que se encontrarán a lo largo de su vida. Las actividades de la tabla 7 permiten generar el modelo de agentes.

**Tabla 7.** Actividades para generar modelo de agente

Actividad	Tipo de resultado	Referencia
Identificar agentes utilizando el principio de racionalidad (17)	Un conjunto de agentes	Figura 20, 22, 24, 26, 28 Figura 21, 23, 25,27, 29 pág 59 – pág 62
Identificar los objetivos (18)	Un conjunto de objetivos	
Identificar funcionalidad (19)	Un conjunto de roles	
Asociar funcionalidad con objetivos (20)	Asociaciones de roles y tareas con agentes	
Identificar aspectos de autonomía e inteligencia (21)	Descripción en lenguaje natural	Texto pág 63
Determinar cómo será el gestor y procesador de estado mental (22)	Descripción en lenguaje natural	Texto pág 64

**Fuente:** Modelado de Sistemas Multi-Agente, 2002 [14]

Para terminar la etapa de Análisis-Elaboración, el modelo de organización recoge todos los resultados de las actividades anteriores y procede a su estructuración, la cual describe cómo se agrupan los distintos componentes del sistema (agentes, roles y aplicaciones). Como ya se tiene un conjunto razonable de tareas, se procede a agruparlas en flujos de trabajo para después refinarlos, mediante las actividades de la tabla 8.

**Tabla 8.** Actividades para generar modelo de organización

Actividad	Tipo de resultado	Referencia
Generar miembros (23)	Entidades asociadas a instancias de <i>grupo</i> .	Figura 30 - pág 66
Identificar flujos de trabajo (24)	Instancias de <i>Flujo de trabajo</i> asociadas a una organización	
Aplicar descomposición de flujos (25)	Descomposición de los flujos de trabajo	Figura 31 - pág 66 Figura 32 - pág 67

**Fuente:** Modelado de Sistemas Multi-Agente, 2002 [14]

**3.3.4 Diseño-Elaboración.** En esta etapa aumenta el nivel de detalle en la especificación refinando los flujos de trabajo y las tareas asociadas, detallando las interacciones en unidades de interacción y definiendo cómo es el control del agente.

**Estructuración de la etapa.** Los modelos de organización se refinan definiendo las tareas asociadas a los flujos de trabajo mediante las actividades de la tabla 9.

**Tabla 9.** Actividades para refinar modelo de organización

Actividad	Tipo de resultado	Referencia
identificar tareas (26)	Un conjunto de tareas asociadas a un flujo de trabajo (se obtienen de modelos de objetivos y tareas)	Figura 33 – pág 69
conectar tareas (27)	Conjunto de Tareas asociadas entre sí para establecer secuencia	Figura 34 – pág 69
identificar entidades mentales(28)	Asociaciones de las tareas con entidades mentales (aquellas que produzcan entidades con aquellas que las consuman)	Figura 35 – pág 70
establecer condiciones mentales (29)	Instancias de <i>patrón de estado mental</i> asociado a flujos de trabajo	
identificar responsables (30)	Asociación de roles o agentes a tareas	Figura 36 – pág 71

**Fuente:** Modelado de Sistemas Multi-Agente, 2002 [14]

Los modelos de interacción se relacionan con los flujos de trabajo a través de las unidades de interacción. Estas entidades especifican la ejecución de tareas de otros agentes que inician o colaboran en la interacción. Para el modelado de interacciones entre agentes en donde se especifique por qué se está ejecutando la interacción, por qué se están aceptando ciertos mensajes y por qué transcurre la interacción de un modo concreto, INGENIAS ha generado una especificación GRASIA adaptada a su uso dentro de la metodología, esta especificación presenta un conjunto de diagramas GRASIA, los cuales se obtienen mediante las actividades de la tabla 10.

**Tabla 10.** Actividades para generar diagramas GRASIA

Actividad	Tipo de resultado	Referencia
<i>realizar diagramas GRASIA</i> (31)	Diagramas GRASIA donde se asocian roles con <i>unidades de interacción</i>	Figura 37 – pág 72
<i>asociar tareas</i> (32)	Asociar tareas a <i>unidades de interacción</i>	
<i>establecer condiciones mentales</i> (33)	Instancias de <i>patrón de estado mental</i> asociado a <i>unidades de interacción</i>	
<i>establecer entidades mentales</i> (34)	Entidades mentales en la unidad de interacción	
<i>establecer orden de ejecución</i> (35)	Relacionar las unidades de interacción para explicar en qué orden se ejecutan	Figura 38 – pág 73

**Fuente:** Modelado de Sistemas Multi-Agente, 2002 [14]

Los modelos de agente no se modifican en este caso, aunque se detalla cómo se espera que sea su control detallando los patrones de estado mental en los cuales se analizan los estados mentales iniciales e intermedios de cada agente. Para especificar el estado inicial se asocia directamente del estado mental inicial al agente, lo cual indica que el agente, al crearse, parte de ese estado. Cuando se asocia indirectamente se está definiendo un estado mental intermedio en la vida del agente. Para expresar estas situaciones, se admite que existen momentos concretos en la vida del agente para los cuales se emplean agentes en ejecución (instancia del agente). La especificación de los estados mentales se realiza mediante las actividades de la tabla 11.

**Tabla 11.** Actividades para generar el control del agente

Actividad	Tipo de resultado	Referencia
<i>detallar el estado inicial</i> (36)	Modelos de agente donde se asocia el agente a su estado mental inicial	Tabla 20 – pág 74
<i>detallar los estados intermedios</i> (37)	Modelos de agente donde se asocia un <i>agente en ejecución</i> a <i>estados mentales</i>	

**Fuente:** Modelado de Sistemas Multi-Agente, 2002 [14]

En las etapas Análisis-Construcción y Diseño-Construcción establecidas por el RUP se refinan casos de uso que no se hayan considerado en las etapas anteriores. Para el proceso de aplicación de la metodología INGENIAS al ámbito PPC no se consideran estas etapas ya que se logró el nivel de detalle esperado a través de los casos de uso desarrollados.

Como conclusión, se considera que el proceso de desarrollo para la obtención del modelo dinámico de PPC proporciona una serie de pasos que parten del modelo estructural de PPC de Siemens-FIET para generar el modelo dinámico a través del proceso de desarrollo de la metodología INGENIAS, el cual muestra la generación de modelos y cómo las entidades que van apareciendo afectan la construcción del SMA.

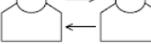
## 4. MODELO RESULTANTE DE PPC

Este capítulo muestra la construcción y verificación de los modelos propuestos por la metodología INGENIAS a través del Kit de Desarrollo de INGENIAS (IDK). Para el modelo resultante se realiza una descripción detallada que evidencie las propiedades y comportamientos dinámicos de los agentes en el proceso de PPC.

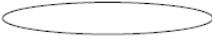
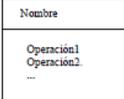
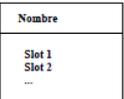
### 4.1 APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA INGENIAS

La construcción del SMA para el proceso de PPC se basa en el desarrollo de las actividades mencionadas en la sección 3.3 *Proceso de Desarrollo de la Metodología INGENIAS para el Ámbito PPC*, las cuales generan como resultado un conjunto de diagramas para los modelos de Entorno, Organización, Interacción, Objetivos y Tareas, y Agente, estos diagramas se relacionan para incluir funcionalidad en el modelo dinámico resultante. Los diagramas relacionados para cada modelo que se presentan a lo largo de este capítulo utilizan una notación desarrollada con la herramienta IDK. Para entender los diagramas se debe conocer la notación de la tabla 12, en la cual se especifica el símbolo y nombre de las entidades utilizadas para la construcción del SMA.

**Tabla 12.** Notación empleada en la representación de los modelos

SIMBOLO	NOMBRE
	Objetivo. Se etiqueta con el nombre del objetivo
	Rol. Se etiqueta con el nombre del rol.
	Procesador de estado mental. Se etiqueta con el nombre del procesador.
	Gestor de estado mental. Se etiqueta con el nombre del gestor.
	Agente. Se etiqueta con el nombre del agente.
	Grupo. Se etiqueta con el nombre del grupo.
	Organización. Se etiqueta con el nombre de la organización.
	Flujo de trabajo. Se etiqueta con el nombre del flujo.
	Interacción. Se etiqueta con el nombre de la interacción y su naturaleza, como coordinación, planificación o negociación.
	Consulta de entidades autónomas. Se etiqueta con nombres concretos de agentes existentes o expresiones que denotan agentes existentes.
	Unidad de interacción. Se etiqueta con el nombre de la unidad y el acto del habla al que hace referencia, como <i>request</i> , <i>inform</i> , o <i>not-understood</i> .

**Tabla 12.** (Continuación)

SIMBOLO	NOMBRE
	<b>Tarea.</b> Se etiqueta con el nombre de la tarea.
	<b>Aplicación.</b> Se etiqueta con el nombre de la aplicación y las operaciones soportadas.
<p><b>HECHO</b></p> 	<b>Hecho.</b> Se etiqueta con el nombre del hecho y los nombres de los slots identificados.

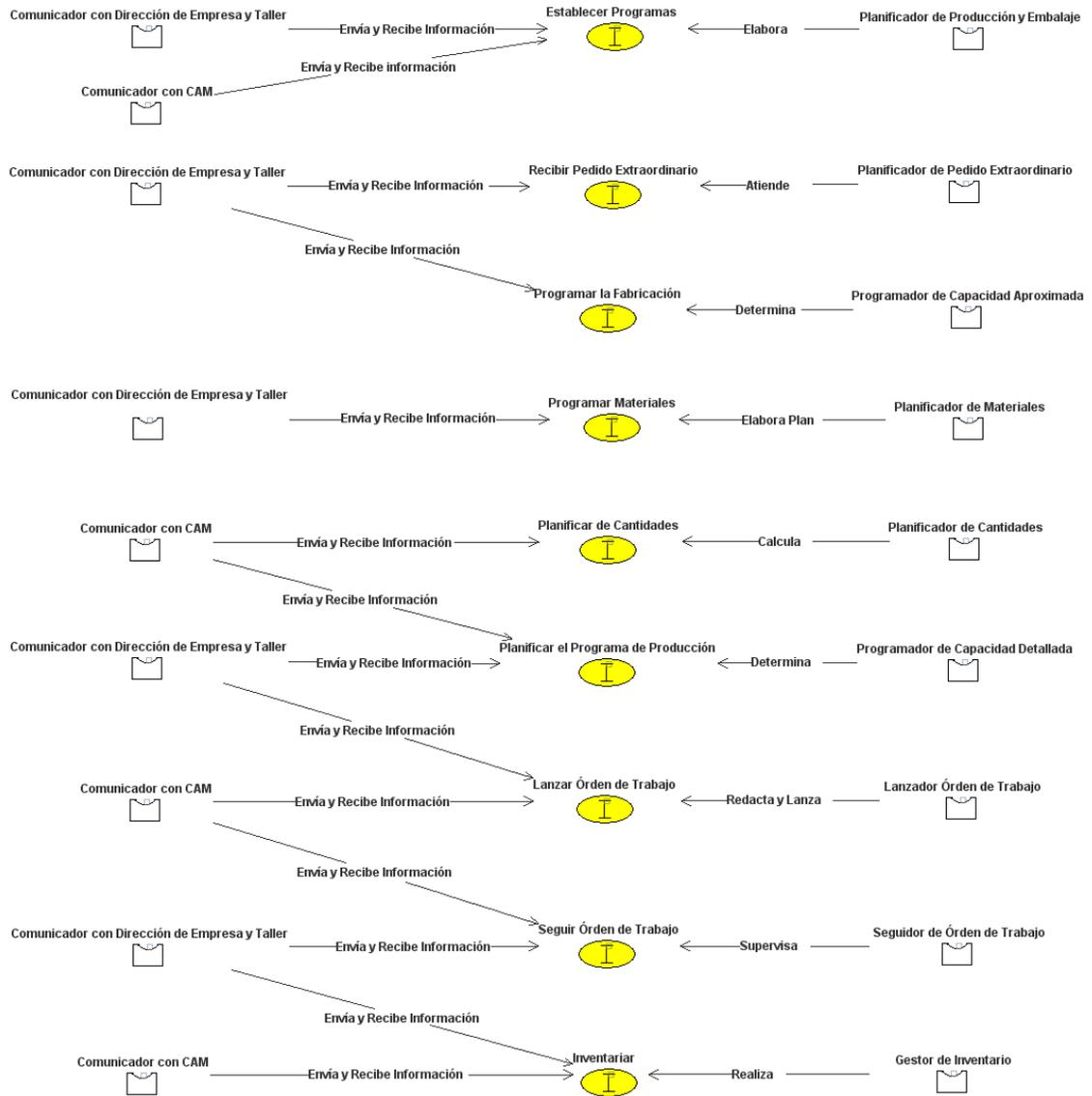
**Fuente:** Modelado de Sistemas Multi-Agente, 2002 [14].

La aplicación del proceso de desarrollo de la metodología INGENIAS para el ámbito PPC, por su extensión, no se ha incluido en su totalidad en este trabajo, la especificación detallada puede revisarse en el Anexo D. La documentación contenida facilita la comprensión y está estructurada siguiendo las pautas mencionadas anteriormente.

**4.1.1 Análisis – Inicio.** En esta etapa se identifican los casos de uso más importantes, los cuales reflejan los principales escenarios de PPC y los actores que participan en su resolución. En la figura 13 se muestran los casos de uso para realizar el Proceso de Programación y Control de la Producción.

Para identificar los casos de uso, se parte del diagrama de flujo de PPC mostrado en la figura 5 del Capítulo 3. El sistema cuenta con nueve casos de uso que son indispensables para realizar el proceso de Programación y Control de la Producción, en donde cada uno representa una función del ámbito PPC. Cada caso de uso tiene asociado actores encargados de ejecutar acciones que le permitan interactuar con él. Los actores identificados en este momento son considerados roles, debido a que aún no se han definido los agentes, por lo tanto, en el diagrama general de casos de uso se puede apreciar todos los roles que se desempeñan en el SMA.

**Figura 13.** Diagrama general de casos de uso



**Fuente:** propia, abril de 2010

Así como en el diagrama de flujo de PPC cada función interactúa con distintos ámbitos funcionales, cada caso de uso tiene asociado roles comunicadores que permiten la comunicación con los demás ámbitos funcionales como se muestra en la tabla 13. Además, cada caso de uso tiene asociado un rol específico, por medio del cual se ejecuta una función del ámbito PPC como se muestra en la tabla 14. Los roles identificados se especifican a continuación:

**Tabla 13.** Roles comunicadores

Roles Comunicadores	Ámbitos Funcionales del Modelo Siemens-FIET
Comunicador con Dirección de Empresa y Taller	Permite recibir y enviar información desde y hacia los ámbitos PE, CAP, VENTAS, COMPRAS, CI y CAD
Comunicador con CAM	Permite recibir y enviar información desde y hacia CF, CONSERVACIÓN, EMBALAJE y ALMACÉN

Fuente: propia, abril de 2010

**Tabla 14.** Roles específicos

Roles Específicos	Funciones del Ámbito PPC del Modelo Siemens-FIET
Planificador de Programas	Establecer Programas
Planificador de Pedido Extraordinario	Pedido Extraordinario
Planificador de Capacidad Aproximada	Programación de la Fabricación
Programador de Materiales	Programación de Materiales
Planificador de Cantidades	Planificación de Cantidades
Programador de Capacidad Detallada	Planificación del Programa de Producción
Lanzador Orden de Trabajo	Lanzamiento de la Orden de Trabajo
Seguidor de Orden de Trabajo	Seguimiento de la Orden de Trabajo
Administrador de Inventario	Inventario

Fuente: propia, abril de 2010

Para mayor entendimiento del diagrama general de casos de uso se realiza la descripción de las relaciones entre los roles y el sistema por medio de plantillas, las cuales se usan para la captura de requerimientos con el fin de obtener rápidamente una visión de la funcionalidad y el grado de complejidad del sistema. Estas plantillas se muestran en el Anexo D. De acuerdo a los casos de uso, roles identificados, y la descripción del diagrama de flujo del proceso de PPC, se obtuvo como resultado la agrupación de roles con propósitos comunes, los cuales se muestran a continuación, con el fin de identificar los agentes que conformarán el proceso de PPC.

- **Generar un programa de producción viable:** Para ello es necesario establecer los programas de Producción y Embalaje, así como también asegurar su viabilidad teniendo en cuenta la capacidad disponible y necesaria a través de los roles Planificador de Producción y Embalaje y Programador de Capacidad Aproximada. Además es necesario recibir el pedido extraordinario y determinar la orden de pedido extraordinario a través del rol Planificador de Pedido Extraordinario. Para realizar este propósito se identificó el *Agente Planificador de Programas* encargado de desempeñar los roles mencionados anteriormente.
- **Generar plan de materiales viable:** Para ello es necesario establecer el Plan de Materiales de Fabricación Interior y Exterior, así como también verificar su viabilidad para periodos más cortos de tiempo a través de los roles Planificador de Materiales y Programador de Capacidad Detallada. Además calcula los componentes necesarios y las materias primas a comprar o reservar para satisfacer el Plan de Materiales a través del rol Planificador de Cantidades. Para realizar este propósito se identificó el *Agente Planificador de Materiales* encargado de desempeñar los roles mencionados anteriormente.

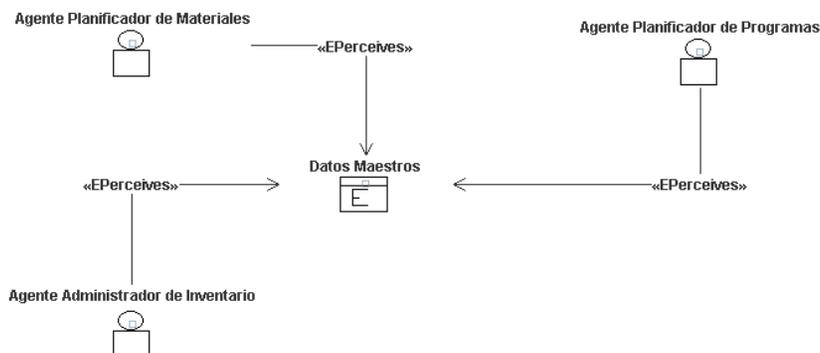
- **Controlar la producción:** Para ello es necesario lanzar y supervisar las ordenes de trabajo a través de los roles Lanzador de Orden de Trabajo y Seguidor de Orden de Trabajo. Para realizar este propósito se identificó el *Agente Controlador de la Producción* encargado de desempeñar los roles mencionados anteriormente.
- **Inventario:** Para ello es necesario realizar y reportar el balance de inventario, además calcular los costos de producción a través del rol Gestor de Inventario. Para realizar este propósito se identificó el *Agente Administrador de Inventario* encargado de desempeñar el rol mencionado anteriormente.
- **Comunicar con ámbitos funcionales:** Para ello es necesario comunicar a PPC con los demás ámbitos funcionales, a través de los roles Comunicador con CAM y Comunicador con Dirección de Empresa y Taller, para lograr la integración empresarial. Para realizar este propósito se identificó el *Agente Comunicador* encargado de desempeñar los roles mencionados anteriormente.

Cada agente es encargado de realizar funciones del proceso de PPC mediante la ejecución de las subfunciones contenidas en las mismas correspondientes a los roles desempeñados.

### Estructuración de la Etapa

Para llevar a cabo las actividades **1 Identificar aplicaciones del entorno**, **2 Asociar operaciones sobre aplicaciones** y **3 Determinar la percepción de los agentes** se analiza el proceso de PPC, en donde la entidad identificada como una aplicación del entorno son los Datos Maestros considerados una base de datos, que proporciona información sobre valores para cálculo de costos, lista de piezas, datos de materiales, etc. Esta información es necesaria para que los agentes Planificador de Plan de Materiales, Planificador PMP y Administrador de Inventario puedan ejecutar sus tareas. En la figura 14 se puede observar la aplicación identificada en el entorno y los agentes que la utilizan.

**Figura 14.** Modelo de entorno



**Fuente:** propia, abril de 2010

Para obtener la arquitectura tentativa de la organización se realizan las actividades **4 Identificar grupos** y **6 Identificar objetivos**. A partir de la definición de la organización que en este caso es el Proceso de Manufactura Integrada por Computador (CIM), se identifica el objetivo global que persigue: lograr la integración de las funciones técnicas y organizativas para la fabricación del producto, y los grupos por los cuales está conformado, definiendo tres grupos que referencian los niveles jerárquicos de tratamiento de datos establecidos por CIM. Además se realiza una descomposición de los grupos en subgrupos considerados ámbitos funcionales de CIM, mostrada en la tabla 15.

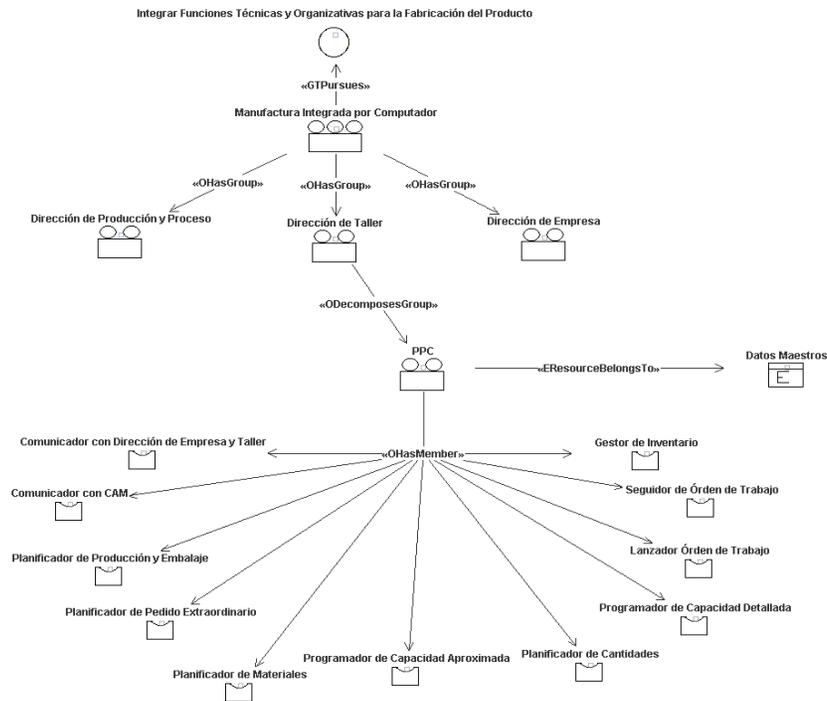
**Tabla 15.** Identificación de grupos y subgrupos en la organización

Niveles Jerárquicos de Tratamiento de Datos (Grupos)	Ámbitos Funcionales (Subgrupos)
Dirección de la Empresa	PE
Dirección de Taller	CAP, CAQ, CAD, COMPRAS, VENTAS, CI, PPC
Dirección de Producción y Proceso (CAM)	Embalaje, Control de Fabricación, Conservación, Almacén, Entrada de Mercancías, Transporte, Montaje, Fabricación de Piezas, Banco de Pruebas y Expedición

**Fuente:** Propia, abril de 2010

Las entidades asociadas al subgrupo PPC se consideran de interés para el proyecto, ya que el objetivo es modelar este ámbito. Para ejecutar la actividad **5 generar miembros** se asocian los roles identificados y la aplicación Datos Maestros al subgrupo PPC. La primera vista de la organización se muestra en la figura 15.

**Figura 15.** Arquitectura tentativa para el modelo de organización



**Fuente:** propia, abril de 2010

**4.1.2 Análisis-Elaboración.** Para dar inicio a la tercera etapa es necesario refinar el diagrama de caso de uso general obteniendo los casos de uso detallados y las interacciones asociadas a éste. Por ello se agruparon subfunciones requeridas para la elaboración de cada caso de uso detallado. Esta agrupación se describe en la tabla 16, donde se indica el caso de uso general al que corresponden los casos de uso detallados y las subfunciones agrupadas contenidas en éste. La relación entre los casos de uso generales y los casos de uso refinados es de inclusión (include), ya que este tipo de relación indica que para que se realice el caso de uso general, se deben haber realizado los casos de uso refinados.

Mediante la asociación de los roles al agente realizada en la primera etapa, se puede identificar qué casos de uso generales debe ejecutar el agente, y por ende los casos de uso refinados y las subfunciones contenidas en él. Para definir qué casos de uso refinados tienen asociada una interacción, es necesaria la utilización del diagrama de flujo del proceso de PPC debido a que se debe identificar si las subfunciones contenidas en el caso de uso refinado reciben o envían información hacia otra subfunción que sea ejecutada por otro agente, y de esta forma definir la interacción.

**Tabla 16.** Casos de uso refinados

Caso de Uso General	Caso de Uso Refinado	Subfunciones
1. Establecer Programa	Planificar PMP	1.1 Establecer programa de producción
	Planificar Embalaje	1.2 Establecer programa de embalaje
2. Recibir Pedido Extraordinario	Planificar Orden Extraordinaria	2.1 Determinar la orden de producción extraordinaria
	Verificar Existencias	Control y reserva de existencias para pedido extraordinario
3. Planificar el Programa de Producción	Definir Capacidad Disponible Detallada	2.3 Chequear la programación frente a la disponibilidad de materia prima 2.4 Chequear la programación frente a la disponibilidad de almacenamiento de producto 2.5 Chequear la programación frente a la disponibilidad de personal y equipo
	Definir Capacidad Necesaria Detallada	2.2 Planificación de requerimientos de capacidad de producción 2.9 Control de actividades previas de diseño
	Determinar Medidas Deta y Viabilidad.	2.6 Modificar la programación de la producción horariamente teniendo en cuenta la capacidad
4. Planificar Cantidades	Controlar y Reservar Materiales	3.5 Control de existencias de almacén. 3.6 Reserva de materiales 3.3 Determinación de las necesidades controladas por el consumo
	Proponer Pedido de Compra	3.1 Cálculo de aprovisionamiento 3.4 Selección de proveedores 3.8 Generar la propuesta de pedido de materiales y energía basado en requerimientos a corto plazo

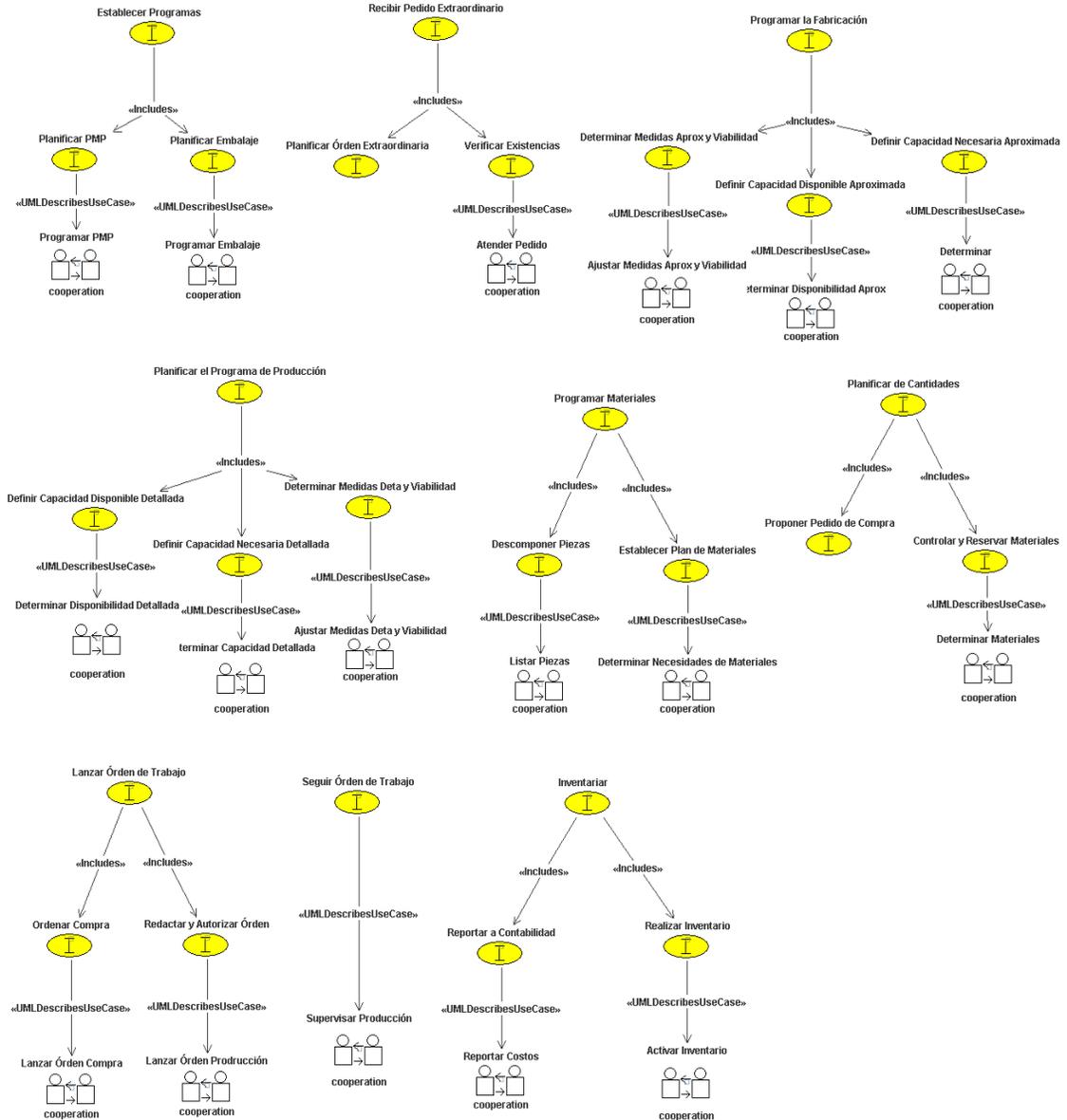
**Tabla 16. (Continuación)**

Caso de Uso General	Caso de Uso Refinado	Subfunciones
5. Programar Materiales	Descomponer Piezas	4.1 Desglose lista de piezas, componentes
	Establecer Plan de Materiales	4.2 Determinación de necesidades brutas y netas
6. Programar la Fabricación	Definir Capacidad Necesaria Aproximada	5.1 Determinación del tiempo de ciclo 5.2 Cálculo de la capacidad necesaria, Ajuste
	Determinar Medidas Aprox y Viabilidad.	5.3 Determinar necesidades del exterior
	Definir Capacidad Disponible Aproximada	5.4 Determinación de la capacidad disponible (Aproximada) 5.5 Determinación del porcentaje de estado de la capacidad (Involucrada, disponible e inalcanzable)
7. Lanzar Orden de Trabajo	Redactar y Autorizar Orden	6.1 Redacción de la orden 6.3 Autorización de orden de trabajo en el taller
	Ordenar Compra	6.2 Pedido exterior.
8. Seguir Orden de Trabajo	No es necesario refinar	7.1 Control de avance de la orden de trabajo 7.2 Revisión de cuellos de botella
		7.3 Seguimiento de cargas 7.4 Comunicación de recepción de mercancías, supervisión de la capacidad de producción 7.5 Supervisión de la orden de trabajo en el taller, conforme al pedido del cliente
9. Inventariar	Realizar Inventario	8.1 Inventario permanente 8.2 Inventario fecha fija
	Reportar a Contabilidad	8.3 Calcular y reportar balance de inventario, pérdidas de material y utilización de energía 3.7 Acumular costos materia prima, mano de obra, energía y otros costos para transmisión a contabilidad

**Fuente:** propia, abril de 2010

La agrupación de la subfunción 3.7 *Acumular costos materia prima, mano de obra, energía y otros costos para transmisión a contabilidad* al caso de uso refinado *Reportar Costos* incluido en el caso de uso general *Inventariar*, se justifica en la identificación de propósitos comunes enfocados hacia el cálculo y reporte de costes. La figura 16 muestra el diagrama de casos de uso refinados y las interacciones asociadas a éste.

**Figura 16.** Caso de uso refinado



Fuente: propia, abril de 2010

### Estructuración de la Etapa

La identificación de las interacciones se obtiene a partir de los casos de uso refinados. Cada modelo de interacción inicia con la actividad **7 identificar los objetivos que persigue la interacción**, que puede partir del objetivo de la organización teniendo en cuenta los propósitos comunes de las subfunciones contenidas en cada caso de uso refinado, además es necesario realizar la actividad **8 identificar su naturaleza**, la cual se ha definido de tipo cooperación, debido a que una condición necesaria para la cooperación es la existencia de intenciones conjuntas entre los agentes que cooperan. La

metodología INGENIAS define, que el comportamiento de un agente está guiado por los objetivos que persigue, siguiendo el *principio de racionalidad*, por lo tanto se puede afirmar que los agentes cooperan entre ellos para alcanzar el objetivo que persigue cada uno, y una vez alcanzados, se satisface el objetivo global de la organización. En el diagrama de flujo del proceso de PPC, se puede apreciar la naturaleza de la interacción que presenta el SMA, ya que para ejecutar cada función del ámbito PPC, se requiere la cooperación tanto de las otras funciones de PPC como de los demás ámbitos funcionales.

Para identificar quienes participan en la interacción se debe desarrollar la actividad **9 identificar los participantes**, en este caso roles como se indica en la tabla 17, para agrupar la funcionalidad que se irá descubriendo. Para su realización es necesario identificar el caso de uso refinado al que está asociada la interacción, identificar las subfunciones del caso de uso refinado, con esto se define el agente encargado de ejecutar estas subfunciones. Luego se determina los agentes que interactúan con las subfunciones identificadas y por medio de qué roles lo hacen. Hecho esto, se obtienen los participantes de la interacción. Cada modelo de interacción debe definir un rol que inicie y uno o varios que colaboren para llevar a cabo la interacción. Para identificar el iniciador se determina qué subfunción inicia la interacción, una vez identificada esta subfunción se distingue el rol a través del cual se ejecuta, y éste, es el que inicia la interacción, los demás roles colaboran.

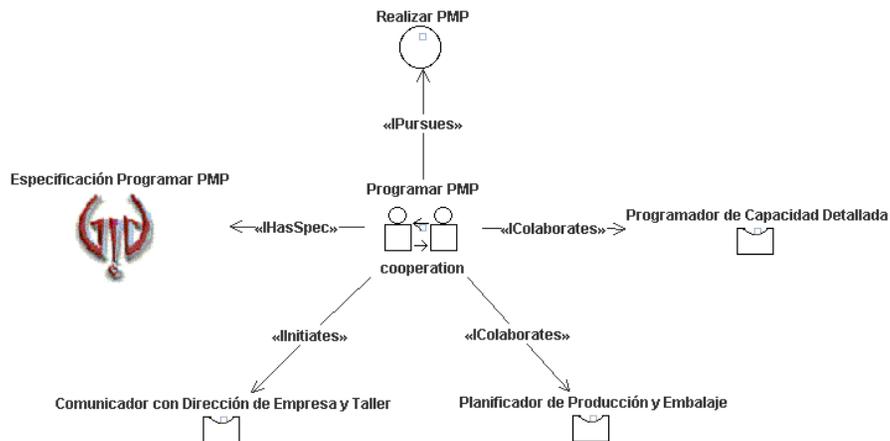
**Tabla 17.** Participantes de las interacciones

Interacción	Participantes (roles)
Programar PMP	Comunicador con Dirección de Empresa y Taller, Planificador de Producción y Embalaje, Programador de Capacidad Detallada
Programar Embalaje	Comunicador con Dirección de Empresa y Taller, Planificador de Producción y Embalaje, Comunicador con CAM
Atender Pedido	Comunicador con Dirección de Empresa y Taller, Planificador de Pedido Extraordinario, Comunicador con CAM
Determinar Disponibilidad Aprox	Seguidor de Orden de Trabajo, Programador de Capacidad Aproximada
Determinar Capacidad Necesaria Aprox	Comunicador con Dirección de Empresa y Taller, Programador de Capacidad Aproximada
Ajustar Medidas Aprox y Viabilidad	Programador de Capacidad Aproximada, Comunicador con Dirección de Empresa y Taller
Listar Piezas	Comunicador con Dirección de Empresa y Taller, Planificador de Materiales
Determinar Necesidades de Materiales	Planificador de Producción y Embalaje, Planificador de Materiales
Determinar Materiales	Planificador de Cantidades, Gestor de Inventario, Comunicador con CAM
Determinar Disponibilidad Detallada	Seguidor de Orden de Trabajo, Comunicador con CAM, Programador de Capacidad Detallada, Comunicador con Dirección de Empresa y Taller
Determinar Capacidad Detallada	Comunicador con Dirección de Empresa y Taller, Programador de Capacidad Detallada, Planificador de Producción, Seguidor de Orden de Trabajo
Ajustar Medidas Deta y Viabilidad	Programador de Capacidad Detallada, Comunicador con Dirección de Empresa y Taller
Lanzar Orden Compra	Programador de Capacidad Detallada, Planificador de Cantidades, Lanzador Orden de Trabajo, Comunicador con Dirección de Empresa y Taller, Comunicador con CAM
Lanzar Orden de Producción	Planificador de Materiales, Seguidor de Orden de Trabajo, Lanzador Orden de Trabajo, Comunicador con CAM
Supervisar Producción	Comunicador con CAM, Comunicador con Dirección de Empresa y Taller, Seguidor de Orden de Trabajo, Gestor de Inventario
Activar Inventario	Comunicador con CAM, Gestor de Inventario
Reportar Costos	Comunicador con Dirección de Empresa y Taller, Seguidor de Orden de Trabajo, Gestor de Inventario

**Fuente:** propia, abril de 2010

En la figura 17 se muestra el modelo de interacción *Programar PMP* asociado al caso de uso refinado *Planificar PMP*, esta interacción persigue el objetivo *Realizar PMP* y tiene asociado sus participantes.

**Figura 17.** Interacción *Programar PMP*



**Fuente:** propia, abril de 2010

Continuando el desarrollo de actividades propuestas en la sección 3.3 *Proceso de Desarrollo de la Metodología INGENIAS para el Ámbito PPC* se procede a realizar los modelos de objetivos y tareas, para los cuales es necesario desarrollar inicialmente la actividad **10 Identificar tareas y objetivos**. Para ello se identifica el objetivo de la organización, de los grupos, de los agentes y finalmente se utiliza los objetivos de las interacciones ya identificados en los modelos de interacción. Para la organización se define el objetivo de CIM ya que ésta es la organización del SMA, cada grupo tiene un objetivo de acuerdo al nivel jerárquico de tratamiento de datos en el que están incluidos los ámbitos funcionales, cada agente tiene un objetivo de acuerdo a las funciones del proceso de PPC que ejecuta. Respecto a las tareas, se consideró que la mayoría de las subfunciones del proceso de PPC serían una tarea, debido a que éstas describen detalladamente el proceso. Para incluir los cuadros de decisión del diagrama de flujo del proceso de PPC como tareas se decidió agruparlos con subfunciones o considerarlos como una tarea. En la tabla 18 se especifica las tareas del modelo de objetivos y tareas.

- Las subfunciones 3.1 *Cálculo de Aprovechamiento*, 3.4 *Selección de Proveedores* y 3.8 *Generar la Propuesta de Pedido de Materiales y Energía basado en Requerimientos a Corto Plazo* se consideraron como una tarea, denominada *Calcular Aprovechamiento y Generar Propuesta de Pedido de Compra*, con el objetivo de disminuir tareas ya que estas subfunciones se ejecutan una tras otra sin interactuar con otras subfunciones.
- Para el agente Comunicador se crearon tareas que permitan la comunicación con cada ámbito funcional.

**Tabla 18.** Tareas identificadas en el modelo de objetivos y tareas

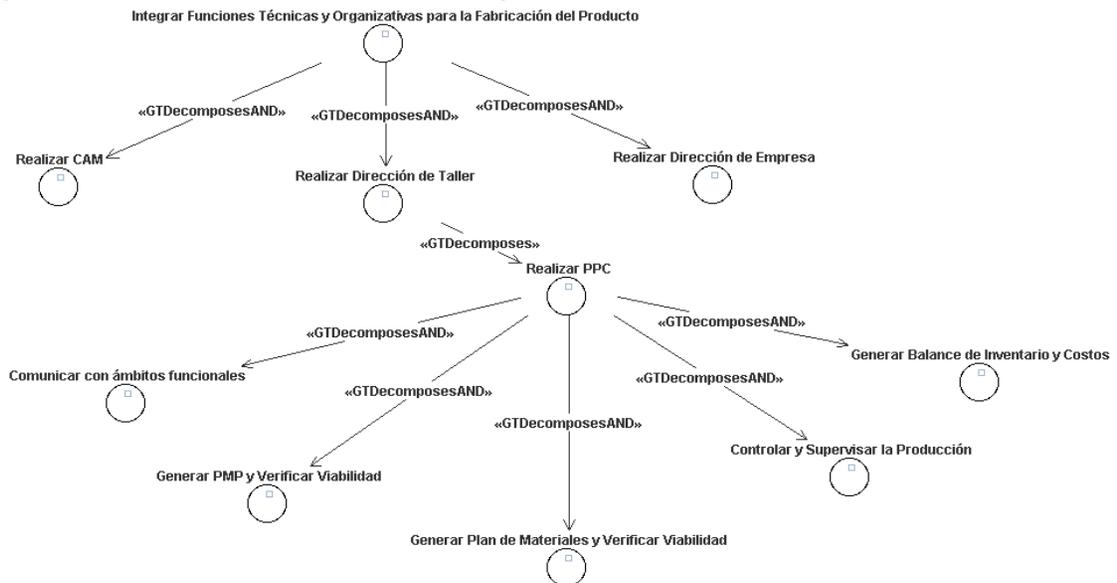
Subfunciones y Cuadros de Decisión de PPC	Tareas de PPC
1.1 Establecer programa de producción	Establecer programa de producción
1.2 Establecer programa de embalaje	Establecer programa de embalaje
2.1 Determinar la orden de producción extraordinaria	Determinar orden extra
Control y reserva de existencias para pedido extraordinario	Controlar y reservar existencias
2.2 Planificación de requerimientos de capacidad de producción	Realizar CRP
2.3 Chequear la programación frente a la disponibilidad de materia prima	Chequear disponibilidad de materiales
2.4 Chequear la programación frente a la disponibilidad de almacenamiento de producto	Chequear disponibilidad de recursos
2.5 Chequear la programación frente a la disponibilidad de personal y equipo	Chequear disponibilidad de almacenamiento
Creada para enviar capacidad disponible detallada a CAP	Comunicar capacidad disponible detallada
¿Plan de Materiales es viable?	Verificar viabilidad del Plan de Materiales
2.6 Modificar la programación de la producción horariamente teniendo en cuenta la capacidad	Modificar la Programación por Capacidad Detallada
¿Capacidad disponible suficiente?	
¿Modificación por falta de materiales?	
2.9 Control de actividades previas de diseño	Controlar actividades previas de diseño
3.1 Cálculo de aprovisionamiento	Calcular Aprov y Generar Propuesta
3.4 Selección de proveedores	
3.8 Generar la propuesta de pedido de materiales y energía basado en requerimientos a corto plazo	
3.3 Determinación de las necesidades controladas por el consumo	
3.5 Control de existencias de almacén	Determinación necesidades consumo
3.6 Reserva de materiales	Controlar existencias
3.7 Acumular costos materia prima, mano de obra, energía y otros costos para transmisión a contabilidad	Reservar materiales
4.1 Desglose lista de piezas, componentes	Acumular costos de producción
4.2 Determinación de necesidades brutas y netas	Desglosar lista de piezas
5.1 Determinación del tiempo de ciclo	Determinar necesidades brutas y netas
5.2 Calculo de la capacidad necesaria, Ajuste	Determinar Tiempo Ciclo
5.3 Determinar necesidades del exterior	Calcular cap necesaria aprox
¿Capacidad disponible suficiente?	Determinar necesidades exterior
¿PMP ha sido modificado?	
5.4 Determinación de la capacidad disponible (Aproximada)	Determinar cap disp aprox
5.5 Determinación del porcentaje de estado de la capacidad (Involucrada, disponible e inalcanzable)	Determinar % estado
¿PMP es viable?	Verificar viabilidad PMP
6.1 Redacción de la orden	Redactar orden de trabajo
6.2 Pedido exterior.	Realizar pedido exterior
6.3 Autorización de orden de trabajo en el taller	Autorizar orden de trabajo
7.1 Control de avance de la orden de trabajo	Controlar avance orden
7.2 Revisión de cuellos de botella	Revisar cuellos de botella
7.3 Seguimiento de cargas	Seguir Cargas
7.4 Comunicación de recepción de mercancías, supervisión de la capacidad de producción	Comunicar mercancías y supervisar capacidad
7.5 Supervisión de la orden de trabajo en el taller, conforme al pedido del cliente	Supervisar orden pedido de cliente
8.1 Inventario permanente	Realizar inventario permanente
8.2 Inventario fecha fija	Realizar inventario fecha fija
8.3 Calcular y reportar balance de inventario, pérdidas de material y utilización de energía	Calcular y reportar balance de inventario

**Fuente:** propia, abril de 2010

Para realizar la descomposición y dependencias de objetivos se desarrolla las actividades **11 Descomponer objetivos** y **12 Establecer dependencias entre objetivos** respectivamente a partir del objetivo de la organización.

La estructuración inicia con el objetivo global (el objetivo de la organización), el cual se descompone en los objetivos de cada grupo, y éstos se descomponen en los objetivos de los subgrupos, en este caso se considera importante únicamente el objetivo del subgrupo PPC. Después se realiza la descomposición del objetivo del subgrupo PPC, en donde cada objetivo corresponde a un agente. Las dependencias entre objetivos no se muestran en algunos diagramas de estructuración de objetivos ya que en estos casos coinciden exactamente con las relaciones de descomposición.

**Figura 18.** Descomposición del objetivo global



**Fuente:** propia, abril de 2010

En la figura 18, se puede observar que el objetivo de la organización se descompone en los objetivos que persiguen los grupos y estos grupos se descomponen en los objetivos que persiguen los subgrupos, para este caso el subgrupo PPC, que a la vez se descompone en los objetivos que persiguen los agentes. Debido a que la estructura de los objetivos en este caso es igual tanto para una relación de descomposición como de dependencia, todas las relaciones son de descomposición en Y, por lo tanto, para que se cumpla el objetivo del subgrupo PPC, es necesario que cada agente satisfaga el objetivo que persigue, de esta misma forma se satisface el objetivo de la organización una vez se alcancen los objetivos de cada grupo. La descomposición e identificación de dependencias continúa para los objetivos de cada agente indicando que estos objetivos se descomponen en los objetivos específicos que hacen referencia a los objetivos de las interacciones en las que participa el agente. La descomposición e identificación de dependencias se detalla en el Anexo D.

Las asociaciones realizadas en la actividad **13 Asociar tareas a objetivo** permiten observar qué tareas afectan los objetivos específicos de cada agente como se muestra en la tabla 19, las tareas se incorporan a los flujos de trabajo de la organización para satisfacer estos objetivos. La asociación de tareas a objetivos del grupo PPC se realiza de acuerdo a la estructura de objetivos definida para cada agente. Cada agente es responsable de realizar las tareas contenidas dentro de los casos de uso refinados en los que él actúa teniendo en cuenta la actividad **10 Identificar tareas**.

**Tabla 19.** Asociación de tareas a objetivos

Tareas	Objetivos	Agentes	
Establecer programa de producción	Realizar PMP	Planificador de Programas	
Establecer programa de embalaje	Realizar programa de embalaje		
Determinar orden extra	Gestionar Pedido Extraordinario		
Controlar y reservar de existencias			
Determinar Tiempo Ciclo	Determinar capacidad necesaria aprox		
Calcular cap necesaria aprox	Determinar medidas de ajuste transitorio aprox		
Determinar necesidades exterior			
Determinar cap disp aprox			
Determinar % estado			
Verificar viabilidad PMP	Determinar viabilidad PMP		Planificador de Materiales
Realizar CRP	Establecer capacidad necesaria detallada		
Controlar actividades previas de diseño	Establecer capacidad disponible detallada		
Chequear disponibilidad de materiales			
Chequear disponibilidad de recursos			
Chequear disponibilidad de almacenamiento			
Comunicar capacidad disponible detallada	Determinar viabilidad Plan de Materiales		
Verificar viabilidad del Plan de Materiales			
Modificar la Programación por Capacidad Detallada	Determinar medidas de ajuste detallada		
Calcular Aprov y Generar Propuesta	Proponer pedido compra		
Determinación necesidades consumo	Verificar y reservar existencias		
Controlar existencias			
Reservar materiales			
Desglosar lista de piezas			
Determinar necesidades brutas y netas	Determinar Plan de Materiales	Controlador de la Producción	
Redactar orden de trabajo	Generar orden producción		
Autorizar orden de trabajo	Enviar orden de compra		
Realizar pedido exterior			
Controlar avance orden			
Revisar cuellos de botella			
Seguir Cargas			
Comunicar mercancías y supervisar capacidad			
Supervisar orden pedido de cliente	Realizar inventario		
Realizar inventario permanente			
Realizar inventario fecha fija			
Calcular y reportar balance de inventario			
Acumular costos de producción	Calcular y reportar costos de producción	Administrador de inventario	
Comunicar con CI	Permitir Comu con CI	Agente Comunicador	
Comunicar con CAP	Permitir Comu con CAP		
Comunicar con CF	Permitir Comu con CF		
Comunicar con VENTAS	Permitir Comu con VENTAS		
Comunicar con Conservación	Permitir Comu con Conservación		
Comunicar con Almacén	Permitir Comu con Almacén		
Comunicar con PE	Permitir Comu con PE		
Comunicar con Embalaje	Permitir Comu con Embalaje		
Comunicar con COMPRAS	Permitir Comu con COMPRAS		
Comunicar con CAD	Permitir Comu con CAD		

**Fuente:** propia, abril de 2010

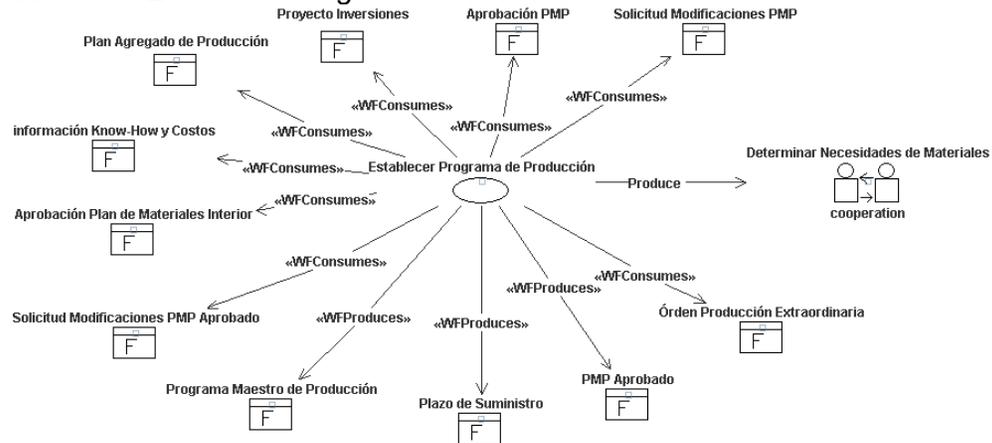
Los modelos de tareas y objetivos generados a partir de estas asociaciones se muestran en el Anexo D.

El desarrollo de las actividades **14 Asociar tareas con interacciones**, **15 Asociar tareas con entidades producidas** y **16 Asociar tareas con aplicaciones**, muestra como resultado las tareas que producen interacciones, producen y consumen hechos, y usan aplicaciones respectivamente. Los hechos reflejan información que es inherentemente cierta para el agente, o bien información resultante de la ejecución de tareas. Por esta razón los hechos son considerados como flujos de información del diagrama de flujo del proceso de PPC, ya que éstos son producidos y consumidos por cada subfunción para realizar su proceso. Las aplicaciones ya se definieron en el modelo de entorno, éstas son los DATOS MAESTROS.

Finalmente, para determinar qué tareas producen interacción, se utilizó el modelo de interacción a través del cual se identifica el rol que inicia la interacción, este rol permite la ejecución de la función del proceso de PPC a la cual está asociado, de esta forma es posible identificar en qué función está contenida la tarea, de acuerdo a la identificación de tareas realizada en la actividad **10 Identificar tareas** y al diagrama de flujo del proceso de PPC se identifica que tarea produce la interacción. A continuación se muestra el resultado de la ejecución de las actividades nombradas anteriormente para la tarea *Establecer Programa de Producción* ejecutada, las demás se detallan en el Anexo D.

En la figura 19 se aprecia las entidades consumidas y producidas por la tarea *Establecer Programa de Producción* ejecutada por el agente *Planificador de Programas* a través del rol *Planificador de Producción y Embalaje*. Esta tarea produce la interacción *Determinar Necesidades de Materiales*, ya que en el modelo de interacción el iniciador de esta interacción es el rol *Planificador de Producción y Embalaje*, debido a que este rol está asociado con la función *Establecer Programas* en el diagrama general de casos de uso realizado en la fase de Análisis-Inicio y las subfunciones contenidas en esta función son consideradas tareas de acuerdo a la actividad **10 Identificar tareas**, se observa en el diagrama de flujo de PPC que la tarea *Establecer Programa de Producción* es quien produce la interacción. Este proceso de identificación de entidades mentales, aplicaciones e interacciones aplica para todas las tareas.

**Figura 19. Tarea *Establecer Programa de Producción***



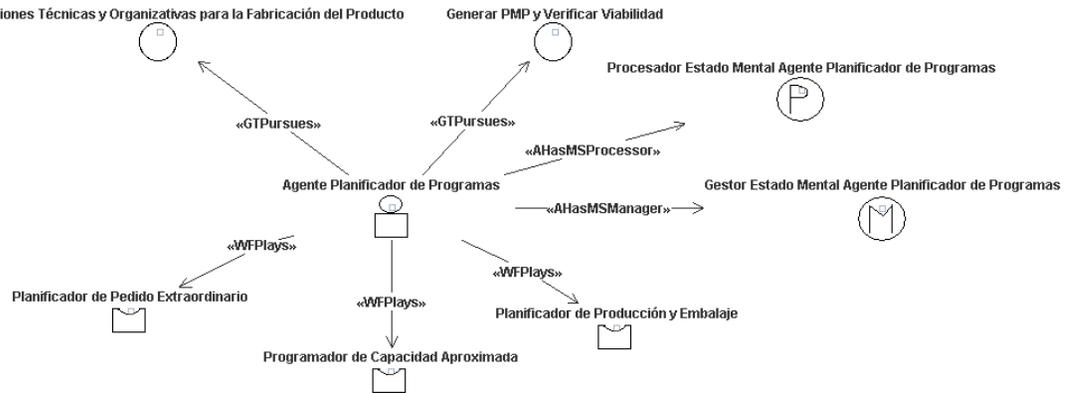
**Fuente:** propia, abril de 2010

Para detallar los agentes de la organización se elaboran modelos de agente, en los cuales se asocian a los agentes los roles y objetivos identificados, además se define el procesador y gestor de estado mental. Para generar el modelo de agente se inicia con el desarrollo de las actividades **17 identificar agentes utilizando el principio de racionalidad** y **18 identificar los objetivos**, en las cuales se verifica si los agentes establecidos anteriormente cumplen con el principio de racionalidad teniendo en cuenta los objetivos identificados en la descomposición del objetivo global mostrada en la figura 18, en donde el objetivo del subgrupo PPC se descompone en cinco objetivos, uno para cada agente.

Se ha establecido que la funcionalidad y el modo de operación de cada uno de los agentes depende, en gran medida, de los roles que asuman estos agentes cuando estén ejecutando una tarea, ya que mediante los roles se puede apreciar el comportamiento dinámico asumido por cada agente, esta funcionalidad surge asociando roles y tareas al agente según las actividades **19 identificar funcionalidad** y **20 asociar funcionalidad con objetivos**. Los roles identificados en el caso de uso general se asocian con el agente que los desempeña y la asociación de tareas con agentes se realiza por medio de la asociación de tareas y roles.

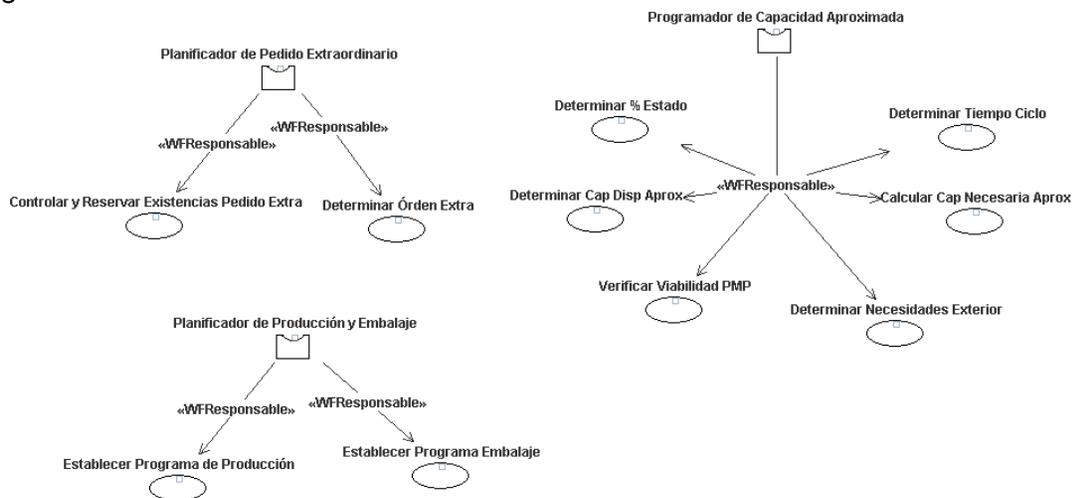
En la figura 20 se muestra el modelo de agente para el agente *Planificador de Materiales*, en donde se especifica los objetivos que persigue y los roles que desempeña. En la figura 21 se muestra las tareas que debe ejecutar el agente *Planificador de Materiales*, a través de la asociación entre tareas y roles.

**Figura 20.** Modelo de agente para el agente *Planificador de Programas*



Fuente: propia, abril de 2010

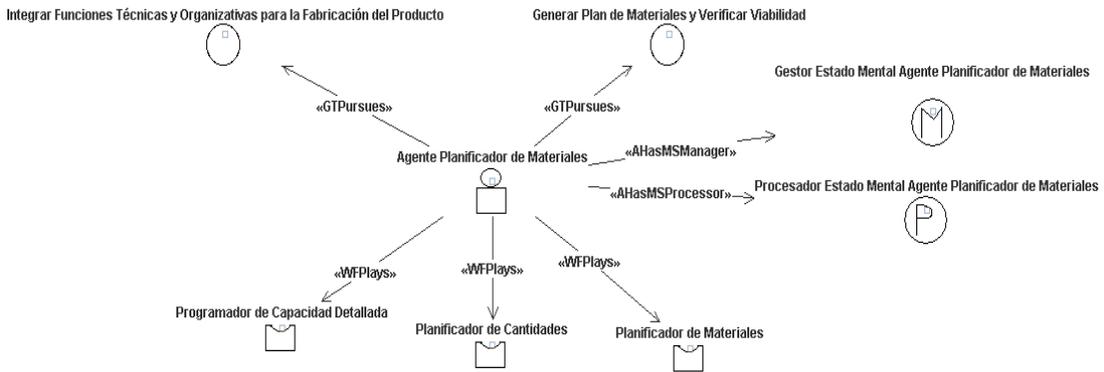
**Figura 21.** Responsables de la ejecución de tareas para el agente *Planificador de Programas*



Fuente: propia, abril de 2010

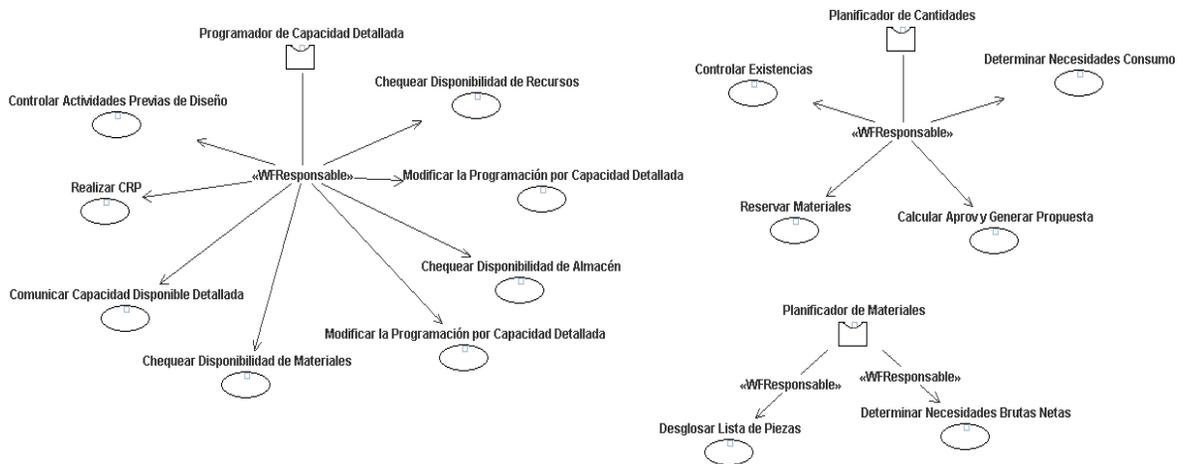
En la figura 22 se muestra el modelo de agente para el agente *Planificador de Materiales*, en donde se especifica los objetivos que persigue y los roles que desempeña. En la figura 23 se muestra las tareas que debe ejecutar el agente *Planificador de Materiales*, a través de la asociación entre tareas y roles.

**Figura 22.** Modelo de agente para el agente *Planificador de Materiales*



Fuente: propia, abril de 2010

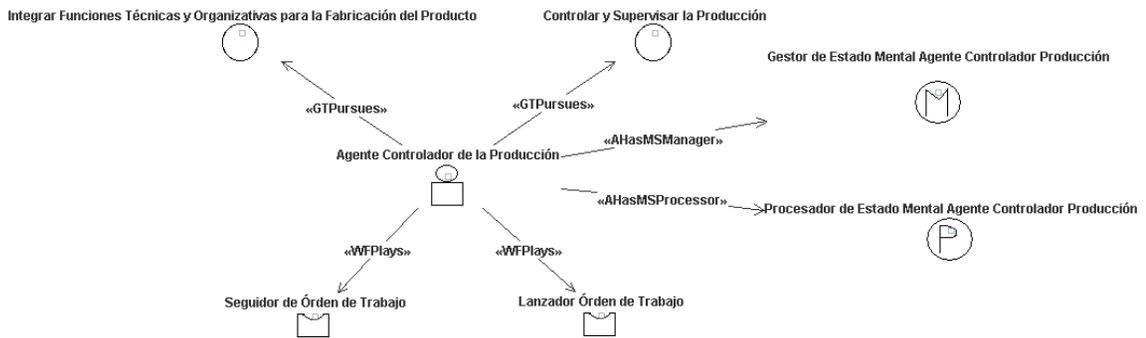
**Figura 23.** Responsables de la ejecución de tareas para el agente *Planificador de Materiales*



Fuente: propia, abril de 2010

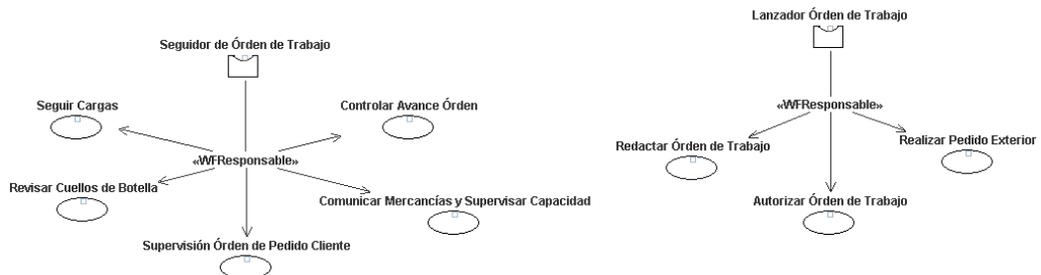
En la figura 24 se muestra el modelo de agente para el agente *Controlador de la Producción*, en donde se especifica los objetivos que persigue y los roles que desempeña. En la figura 25 se muestra las tareas que debe ejecutar el agente *Controlador de la Producción*, a través de la asociación entre tareas y roles.

**Figura 24.** Modelo de agente para el agente *Controlador de la Producción*



Fuente: propia, abril de 2010

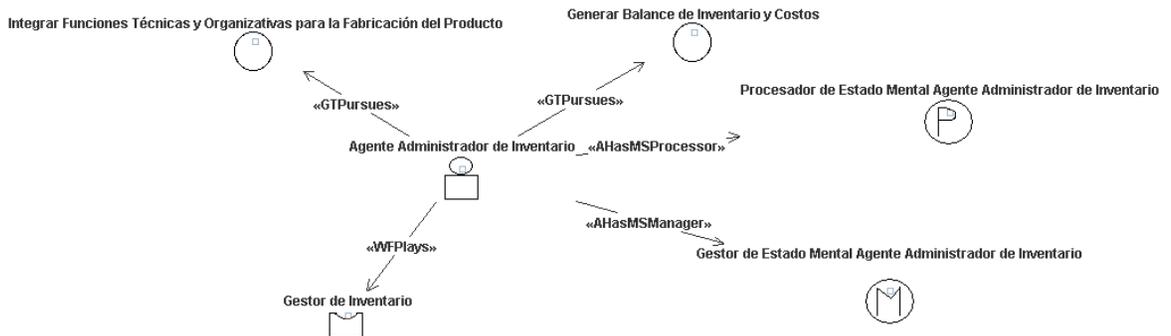
**Figura 25.** Responsables de la ejecución de tareas para el agente *Controlador de la Producción*



Fuente: propia, abril de 2010

En la figura 26 se muestra el modelo de agente para el agente *Administrador de Inventario*, en donde se especifica los objetivos que persigue y los roles que desempeña. En la figura 27 se muestra las tareas que debe ejecutar el agente *Administrador de Inventario*, a través de la asociación entre tareas y roles.

**Figura 26.** Modelo de agente para el agente *Administrador de Inventario*



Fuente: propia, abril de 2010

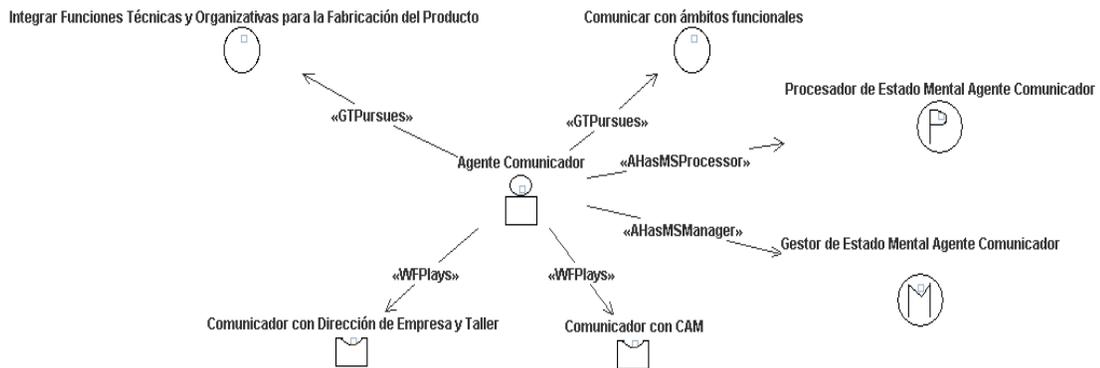
**Figura 27.** Responsables de la ejecución de tareas para el agente *Administrador de Inventario*



**Fuente:** propia, abril de 2010

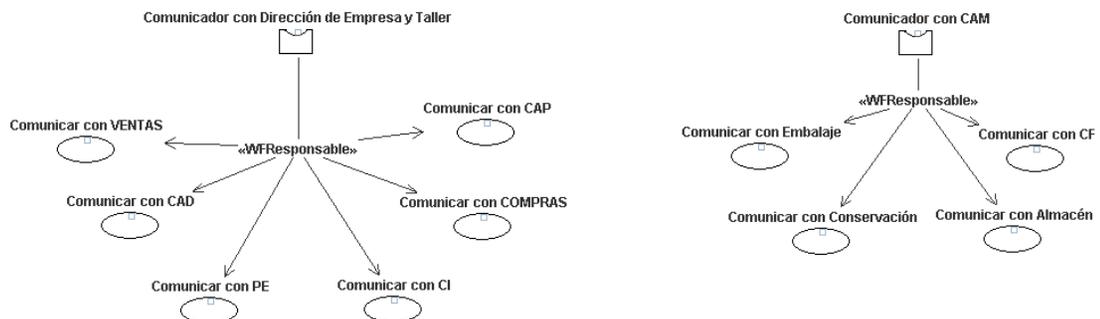
En la figura 28 se muestra el modelo de agente para el agente *Comunicador*, en donde se especifica los objetivos que persigue y los roles que desempeña. En la figura 29 se muestra las tareas que debe ejecutar el agente *Comunicador*, a través de la asociación entre tareas y roles.

**Figura 28.** Modelo de agente para el agente *Comunicador*



**Fuente:** propia, abril de 2010

**Figura 29.** Responsables de la ejecución de tareas para el agente *Comunicador*



**Fuente:** propia, abril de 2010

Los aspectos de autonomía e inteligencia son función directa de la especificación del comportamiento del agente y se especifican en la actividad **21 identificar aspectos de autonomía e inteligencia**. Para el proceso PPC, los agentes son concebidos como entidades que incorporan inteligencia y capacidades cognitivas que le permiten mostrar un comportamiento pro-activo orientado a objetivos y establecer procesos de interacción cooperativos con otras entidades para satisfacer sus objetivos. Ya que los sistemas de control de fabricación son sistemas grandes y complejos, diseñados para desempeñar una tarea claramente definida en un ambiente estandarizado y bien estructurado requieren menos deliberación mental y social que las aplicaciones multiagente típicas. Además, un agente nunca rechaza de manera deliberada la cooperación con otro agente, sólo rechaza su ejecución, cuando las acciones solicitadas son imposibles o fuertemente desventajosas para el proceso de producción. En este sentido, los agentes de producción son semi-autónomos y deben razonar sobre el comportamiento del sistema de fabricación, pero no sobre sus propias actitudes mentales o aquellas de otras unidades de control.

En cuanto a la inteligencia, el agente de un sistema productivo debe ser capaz de desenvolverse en un entorno muy cambiante y exigente, para ello deben cumplir los siguientes requisitos:

La *Integración empresarial* de todos los subsistemas de la empresa lo cual garantiza la persecución del objetivo corporativo de la empresa por parte de todos y cada uno de los componentes de la misma, este requisito se contempla en las habilidades del agente *Comunicador*, ya que a través de su inteligencia se identifica que información proveniente de un ámbito funcional es requerida por otro ámbito permitiendo la integración entre los ámbitos funcionales.

La *Organización distribuida*, esto es consecuencia de lo anterior, ya que para conseguir una buena integración dentro de la organización, se necesitan bases de conocimiento distribuidas capaces de relacionar la demanda final con los recursos que dispone la empresa teniendo en cuenta la capacidad de la misma. En el modelo de organización, la organización contiene bases de conocimiento distribuidas consideradas grupos compuestos por agentes que a través de su inteligencia procesan la información suministrada por otros agentes para satisfacer el objetivo global.

El meta-modelo de agente habla de Procesadores y Gestores de Estado Mental que establecen el proceso deliberativo y de mantenimiento del conocimiento del agente. El comportamiento de los agentes viene determinado por su estado mental, por ello en la actividad **22 Determinar cómo será el gestor y procesador de estado mental** se define el procesador y gestor de estado mental para cada uno de los agentes. El Procesador de Estado Mental obedece a la consecución de objetivos eligiendo la secuencia de tareas a ejecutar. Para satisfacer los requisitos del procesador se utiliza la especificación de estados intermedios por los que pasa un agente en ejecución, las relaciones entre tareas y entidades mentales y la secuencia suministrada por los flujos de trabajo.

Los agentes *Planificador de Programas* y *Planificador de Materiales* presentan casos específicos que hacen referencia a los cuadros de decisión en el diagrama de flujo del proceso de PPC en los cuales el agente debe decidir y se muestran a continuación:

### **Agente Planificador de Programas**

1. Cuando se ejecute la tarea *Controlar y Reservar Existencias*, el procesador debe decidir cual secuencia de tareas continúa dependiendo de la información consumida *Inventario de Producto Terminado*. Si las existencias suplen el requerimiento de producto terminado se produce el hecho *Aprobación Retiro de Almacén* y continúa la secuencia hacia Ventas, de lo contrario se produce el hecho *No hay existencias* y continúa la secuencia para determinar la orden de producción extraordinaria.

2. Cuando se ejecute la tarea *Verificar Viabilidad PMP*, el procesador debe decidir cual secuencia de tareas continúa, dependiendo de la información consumida *Capacidad Disponible para PMP* y *Capacidad Necesaria para PMP*. Si el PMP es viable se produce el hecho *Aprobación PMP*, de lo contrario se produce el hecho *Necesidades de Capacidad Aprox Faltan por Suplir* y se procede a realizar las medidas de ajuste transitorio.

3. Cuando se ejecute la tarea *Determinar Necesidades Exterior*, el procesador debe decidir cual secuencia de tareas continúa, dependiendo de la información consumida *Necesidades de Capacidad Aprox Faltan por Suplir* y las medidas de ajuste transitorio que se realicen, se verifica si la capacidad disponible generada es suficiente. Si es suficiente se producen los hechos *Necesidades de Personal Aprox* para informar a PE y *Capacidad Adicional Disponible Aprox* y se continúa la secuencia hacia la tarea *Determinar Cap Disp Aprox* y así volver a verificar si el PMP es viable.

### **Agente Planificador de Materiales:**

1. Cuando se ejecute la tarea *Verifica Viabilidad del Plan de Materiales*, el procesador debe decidir cual secuencia de tareas continúa, dependiendo de la información consumida *Capacidad Disponible Detallada* y *Capacidad Necesaria Detallada*. Si el Plan de Materiales es viable se produce el hecho *Aprobación Plan de Materiales*, de lo contrario se produce el hecho *Necesidades de Capacidad Deta Faltan por Suplir* y se procede a realizar las medidas de ajuste transitorio.

2. Cuando se ejecute la tarea *Modificar la Programación por Capacidad Detallada* el procesador debe decidir cual secuencia de tareas continúa, dependiendo de la información consumida *Necesidades de Capacidad Deta Faltan por Suplir* y las medidas de ajuste transitorio que se realicen, se verifica si la capacidad disponible generada es suficiente. Si es suficiente se producen los hechos *Necesidades de Personal Detallada*

para informar a PE y *Capacidad Adicional Disponible Detallada* y se continúa nuevamente con la verificación del Plan de Materiales. Si la capacidad generada no es suficiente se produce el hecho *Solicitud Modificaciones Plan de Materiales* y se procede a reprogramar el Plan, si este proceso ya había ocurrido una vez y el Plan de Materiales ya se había modificado se produce el hecho *Solicitud Modificaciones PMP Aprobado* para que se envíe al agente Planificador de Programas.

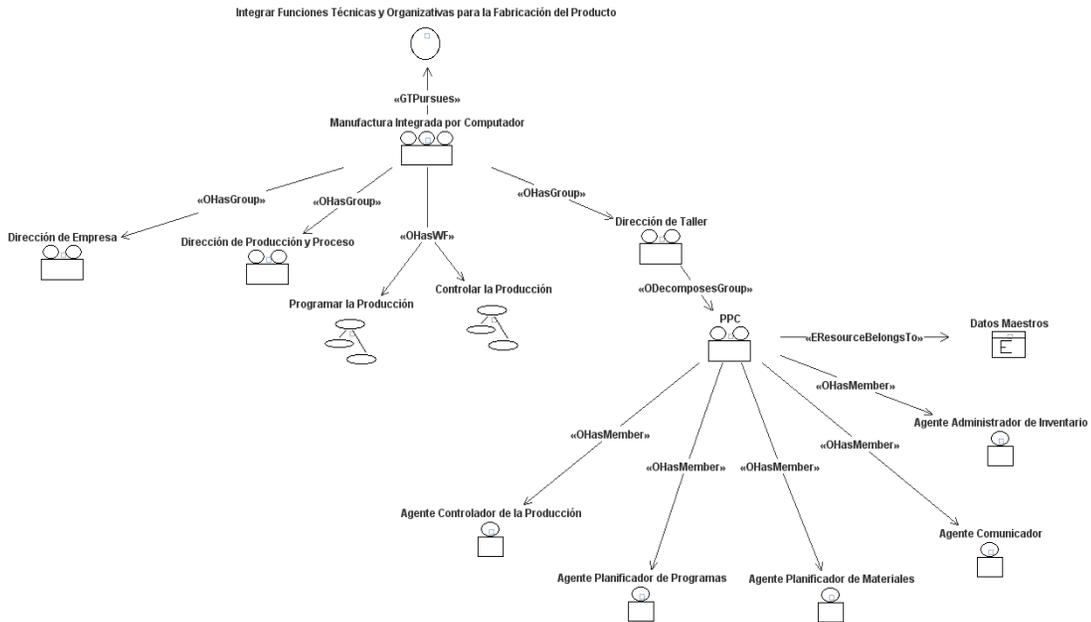
INGENIAS no explicita cómo se define el procesador de estado mental porque se considera que hay formas muy variadas de realizarlo. Por ejemplo, podría ser un motor de inferencia sobre un conjunto de reglas, razonamiento basado en casos, o una red neuronal. Dependerá de las necesidades de la implementación o el mecanismo más adecuado según el desarrollador.

El gestor de estado mental indica la evolución del estado mental por medio de las tareas que satisfacen objetivos, para cumplir los requisitos del gestor se utiliza la especificación de estados intermedios por los que pasa un agente en ejecución, relaciones entre el agente y objetivos la cual se usa para justificar porque se ejecutan las tareas en la organización, y relaciones entre tareas y objetivos que tienen como propósito poner de manifiesto que la ejecución de una tarea afecta al estado mental del agente, satisfaciendo un objetivo o haciéndolo fallar. Cuando el agente satisface sus objetivos vuelve a su estado inicial para ejecutar nuevamente sus tareas.

Para terminar la etapa de Análisis-Elaboración, el modelo de organización recoge todos los resultados de las actividades anteriores y procede a su estructuración, la cual describe cómo se agrupan los distintos componentes del sistema (agentes, roles y aplicaciones), y facilita la identificación de los flujos de trabajo. La segunda vista del modelo de organización contempla el desarrollo de la actividad **23 generar miembros**, la cual consiste en agrupar los componentes del sistema y asociarlos a los grupos, en este caso asociar al subgrupo PPC la aplicación usada y los agentes que lo componen, como se muestra en la figura 30.

El objetivo del flujo de trabajo es establecer cómo se asignan los recursos, qué tareas son necesarias para la consecución de un objetivo, y quiénes son los responsables de ejecutarlas, y se logra representar en el modelo mediante la actividad **24 identificar flujos de trabajo**. Debido a que el proceso de PPC consiste en programar y controlar la producción, en donde la programación de la producción considera la planificación de la producción a corto plazo y la planificación de requerimientos de materiales, así como el análisis de capacidad correspondiente con el fin de obtener planes viables; y el control de la producción contiene el lanzamiento de ordenes de producción y compra, como también el seguimiento de estas ordenes y la administración de inventario. De este análisis surgen dos flujos de trabajo: *Programar la Producción* y *Controlar la Producción* como se muestra en la figura 30.

**Figura 30.** Representación del SMA para el proceso de PPC



**Fuente:** propia, abril de 2010

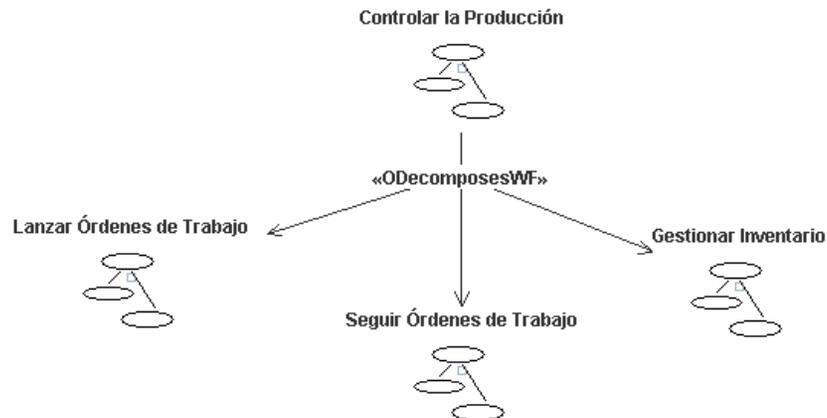
Para facilitar la comprensión y detallar cada uno de los flujos de trabajo se realiza la actividad **25 aplicar descomposición de flujos**, la cual inicia con la descomposición del flujo de trabajo *Programar la Producción* en los flujos de trabajo *Elaborar PMP y Atender Pedido Extra*, *Verificar Viabilidad Aproximada*, *Elaborar Plan de Materiales* y *Verificar Viabilidad Detallada* como se indica en la figura 31, y finaliza con la descomposición del flujo de trabajo *Controlar la Producción* en los flujos de trabajo *Lanzar Ordenes de Trabajo*, *Seguir Ordenes de Trabajo* y *Gestionar Inventario* como se indica en la figura 32, teniendo en cuenta las fases definidas en la descripción del diagrama de flujo de proceso de PPC en capítulo 3. La existencia de estos flujos se debe a la necesidad de organizar las tareas que se han identificado.

**Figura 31.** Descomposición flujo de trabajo *Programar la Producción*



**Fuente:** propia, abril de 2010

**Figura 32.** Descomposición flujo de trabajo *Programar la Producción*



**Fuente:** propia, abril de 2010

Los flujos de trabajo demuestran la funcionalidad del proceso de PPC. La descripción de cada flujo de trabajo se realiza a través de las fases del diagrama de flujo del proceso de PPC en el cual se identifica los límites entre cada flujo de trabajo y su evolución en el tiempo.

- El flujo de trabajo *Elaborar PMP y Atender Pedido Extra* especifica el proceso para realizar el PMP a partir del Plan Agregado de Producción o un pedido extraordinario.
- El flujo de trabajo *Verificar Viabilidad Aproximada* contempla el proceso de verificar viabilidad del PMP por medio de la comparación entre capacidades disponible y necesaria generando un PMP Aprobado.
- El flujo de trabajo *Elaborar Plan de Materiales* contiene el proceso de realización del Plan de Materiales de Fabricación Interior y Exterior basado en la planificación de cantidades.
- El Flujo de trabajo *Verificar Viabilidad Detallada* realiza el proceso de verificar el Plan de Materiales por medio de la comparación entre capacidades disponible y necesaria pero para periodos más cortos de tiempo, obteniendo un Plan de Materiales Aprobado.
- El flujo de trabajo *Lanzar Ordenes de Trabajo* especifica el proceso de lanzamiento de ordenes de producción hacia manufactura, y ordenes de compra a Compras.
- El flujo de trabajo *Seguir Ordenes de Trabajo* realiza la supervisión y control de los procesos de manufactura para lograr la realimentación del proceso de PPC.

- El flujo de trabajo *Gestionar Inventario* realiza el inventario y genera reportes para Contabilidad Industrial.

**4.1.3 Diseño-Elaboración.** En esta etapa se detalla la especificación de los flujos de trabajo y las tareas asociadas, así mismo las interacciones en unidades de interacción y se define un conjunto de estados mentales que expresan el comportamiento del agente.

### **Estructuración de la Etapa**

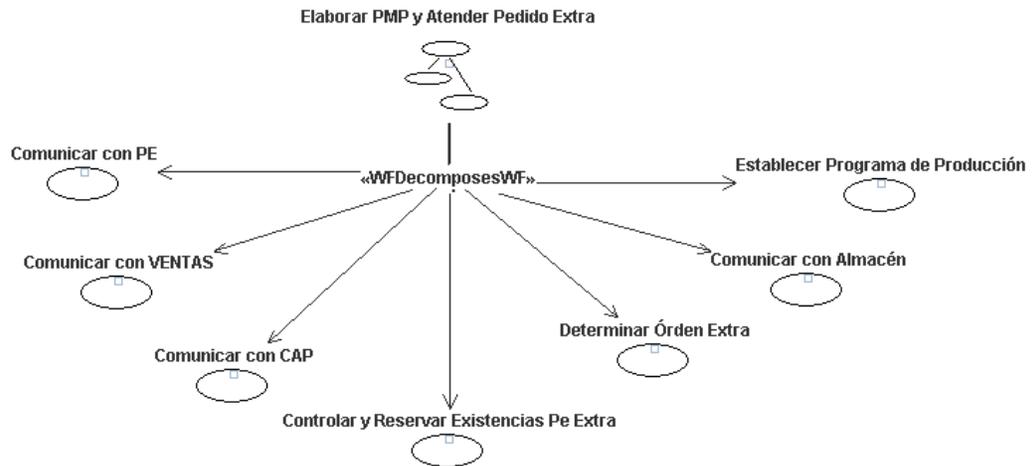
Para especificar cada flujo de trabajo es necesario realizar la actividad **26 identificar tareas**, en donde se examina las tareas necesarias para llevar a cabo cada flujo de trabajo a través de la actividad **10 identificar tareas y objetivos** realizada en la etapa de Análisis-Elaboración en el modelo de tareas y objetivos, y las fases del diagrama de flujo del proceso de PPC. Identificadas las tareas se procede a asociarlas para representar su secuencia por medio de la actividad **27 Conectar tareas**.

Las entidades mentales son los elementos que se pasan de una tarea a otra durante su ejecución. Estas entidades se identifican de forma detallada dentro del meta-modelo de tareas y objetivos, y se mencionan nuevamente porque activan el flujo de trabajo o bien sirven para que éste continúe su ejecución, la actividad **28 identificar entidades mentales**, permite identificar las entidades mentales consumidas y producidas en el flujo de trabajo asociando aquellas que produzcan entidades con aquellas que las consuman. Una tarea se conecta con las entidades mentales consumidas en el flujo de trabajo con *WFConsume* y con las entidades producidas con *WFProduce*.

Para incluir los estados mentales en los flujos de trabajo se realiza la actividad **29 establecer condiciones mentales** por medio de los patrones de estado mental que referencian el estado mental del agente, los cuales se indican en las relaciones *WFProduce*, ya que cada vez que se ejecuta una tarea cambia el estado mental del agente responsable de la misma. Las tareas son ejecutadas directamente por agentes o indirectamente a través de los roles desempeñados. Para cada tarea contemplada en el flujo de trabajo, se ha de decidir quién es su responsable por medio de la actividad **30 identificar responsables**, en este caso los roles son los responsables de ejecutar las tareas presentes en el flujo de trabajo.

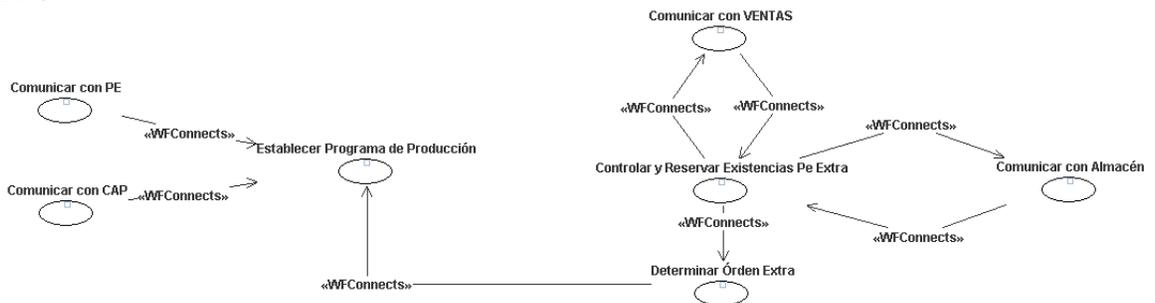
A continuación se detalla el flujo de trabajo *Elaborar PMP y Atender Pedido Extra* para el cual se realizan las anteriores actividades y se obtiene los siguientes resultados, los demás flujos de trabajo se especifican en el Anexo D. El flujo de trabajo *Elaborar PMP y Atender Pedido Extra* está compuesto por las tareas de la figura 33, de acuerdo a la actividad 26, las cuales permiten realizar el PMP a partir del Plan Agregado de Producción o un pedido extraordinario.

**Figura 33.** Tareas que componen el flujo de trabajo *Elaborar PMP y Atender Pedido Extra*



**Fuente:** propia, abril de 2010

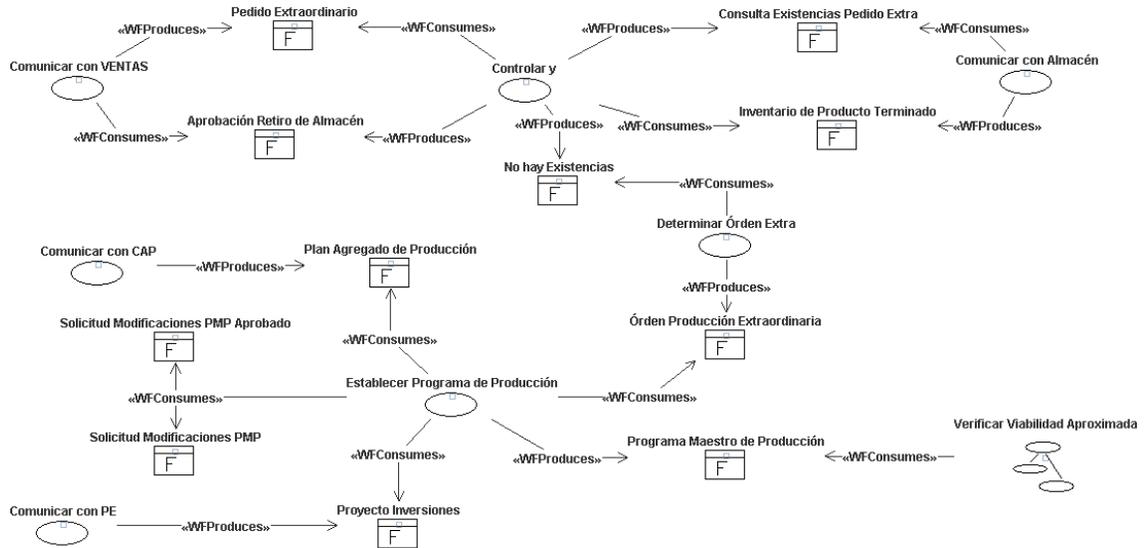
**Figura 34.** Secuencia de tareas para el flujo de trabajo *Elaborar PMP y Atender Pedido Extra*



**Fuente:** propia, abril de 2010

De acuerdo a la actividad 27 se obtiene la figura 34, en la cual se muestra la secuencia para elaborar el PMP a partir de la programación a largo plazo por medio de las tareas *Comunicar con CAP* y *Comunicar con PE* o el pedido extraordinario por medio de la tarea *Comunicar con Ventas*. Si se trata de un pedido extraordinario se procede a verificar si las existencias suplen el requerimiento de producto terminado por medio de la tarea *Controlar y Reservar Existencias Pe Extra*, la cual verifica directamente en almacén a través de la tarea *Comunicar con Almacén*. Si se determina que las existencias suplen el requerimiento se reserva el producto y se informa a Ventas, de lo contrario se ejecuta la tarea *Determinar Orden Extra*. Teniendo en cuenta cualquiera de las opciones se procede a *Establecer el Programa de Producción*.

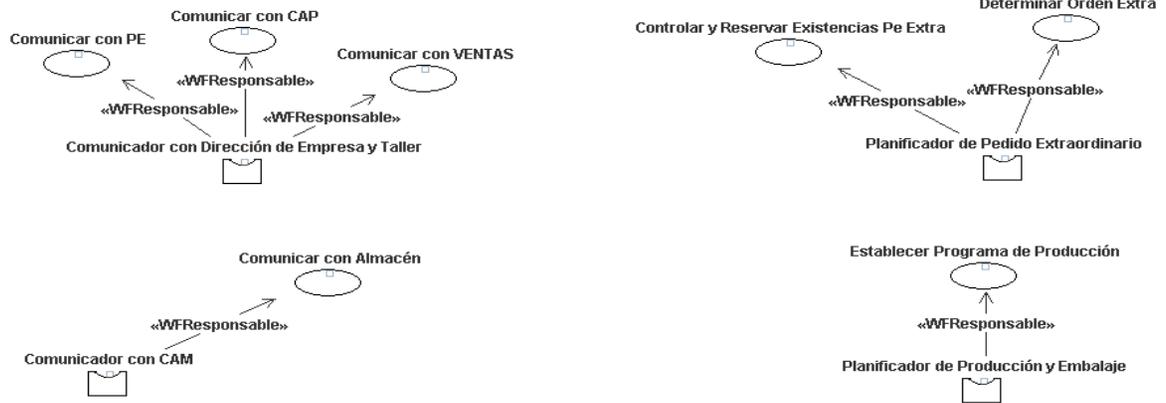
**Figura 35.** Descripción detallada del flujo de trabajo *Elaborar PMP y Atender Pedido Extra*



**Fuente:** propia, abril de 2010

La figura 35 describe las entidades mentales intercambiadas en el flujo de trabajo *Elaborar PMP y Atender Pedido Extra* obtenidas a partir de la actividad 29. El propósito del flujo de trabajo es realizar el PMP, para tal caso existen dos situaciones iniciales, la primera considerar la llegada del *Plan Agregado de Producción* y el *Proyecto de Inversiones* por medio de las tareas *Comunicar con CAP* y *Comunicar con PE* respectivamente, o la segunda recibir un *Pedido Extraordinario* por medio de la tarea *Comunicar con Ventas*. Si se trata de un pedido extraordinario se procede a verificar si las existencias suplen el requerimiento de producto terminado por medio de la tarea *Controlar y Reservar Existencias Pe Extra*, la cual *Consulta Existencias de Pedido Extra* en Almacén, y a través de la tarea *Comunicar con Almacén* envía el *Inventario de Producto Terminado*, si se determina que las existencias suplen el requerimiento se reserva el producto y se informa a Ventas la *Aprobación Retiro de Almacén*, de lo contrario se indica que *No hay existencias* a la tarea *Determinar Orden Extra* para que genere la *Orden de Producción Extraordinaria* que posteriormente será atendida por la tarea *Establecer el Programa de Producción*. Teniendo en cuenta cualquiera de las opciones se realiza la tarea *Establecer el Programa de Producción* para generar el *Programa Maestro de Producción*, que será consumido por el flujo de trabajo *Verificar Viabilidad Aproximada*. Además esta tarea recibe la *Solicitud de Modificaciones de PMP* resultado de la verificación de viabilidad del PMP cuando éste no es viable, lo cual implica que se debe generar nuevamente, y la *Solicitud de Modificaciones PMP Aprobado* resultado de la verificación de viabilidad del Plan de Materiales cuando éste no es viable con el PMP propuesto, lo cual implica que se debe generar nuevamente. La figura 36 muestra los responsables de la ejecución de las tareas presentes en el flujo de trabajo *Elaborar PMP y Atender Pedido Extra* identificados a través de la actividad 30.

**Figura 36.** Responsables de la ejecución de tareas en el flujo *Elaborar PMP y Atender Pedido Extra*



**Fuente:** propia, abril de 2010

Debido a que los modelos de interacción se relacionan con los flujos de trabajo a través de las unidades de interacción es necesario identificar en las interacciones las unidades de interacción (pasos de mensaje), el iniciador (emisor) y los colaboradores (receptores). La actividad **31 realización de los diagramas GRASIA** consiste en identificar unidades de interacción y asociarlas a los participantes de la interacción, en este caso a los roles que desempeña cada agente. Cada unidad de interacción representa mensajes entre dos agentes, que en este caso se consideran flujos de información del ámbito PPC. De forma similar a las interacciones, una *unidad de interacción* también describe quién la inicia (*UIInicia*), quién colabora (*UIColabora*) y qué tareas se ejecutan en cada una.

La actividad **32 asociar tareas**, permite asociar tareas a unidades de interacción para conocer qué tareas hacen posible la interacción. De acuerdo a los modelos de interacción y su descripción realizada en la etapa Análisis-Elaboración, es posible determinar los participantes de cada interacción y saber quién inicia y quiénes colaboran en la interacción. Además, se puede identificar qué tareas son las que envían o reciben los flujos de información contenidos en el diagrama de flujo del proceso de PPC.

Los patrones de estado mental se usan para expresar condiciones de comienzo y colaboración en términos de entidades de estado mental. La actividad **33 establecer condiciones mentales** se realiza al incluir en las relaciones *UIInicia* y *UIColabora* el estado mental del agente que está desempeñando el rol mediante el cual se ejecuta la tarea, con el fin de establecer cuál debe ser el estado mental del agente para iniciar o colaborar en la interacción. Los estados mentales se definen más adelante, cuando se detalle el control del agente.

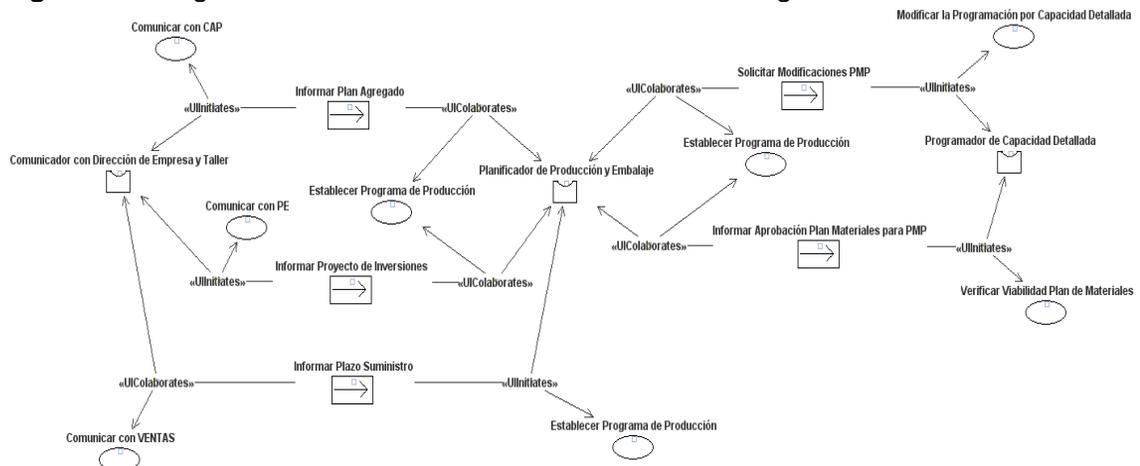
La actividad **34 establecer entidades mentales** radica en asignar hechos a las unidades de interacción para definir qué flujo de información se está enviando en determinado momento. Para identificar qué hecho se debe asignar a la unidad de interacción, es

necesario referenciarse en los diagramas generados de la actividad **15 asociar tareas con entidades producidas** realizados en la etapa Análisis-Elaboración para identificar qué hecho produce la tarea que inicia y consume la tarea que colabora haciendo posible la interacción a través de la unidad de interacción.

Las unidades de interacción se ordenan de una forma determinada dependiendo de las necesidades de interacción para llevar a cabo los flujos de trabajo, para lograr esto se realiza la actividad **35 establecer orden de ejecución** en donde se establecen relaciones UIPrecede entre las unidades de interacción.

A continuación se detalla el diagrama GRASIA asociado a la interacción *Programar PMP* en la figura 37, para el cual se realizan las anteriores actividades y se obtiene los siguientes resultados, los demás diagramas GRASIA se especifican en el Anexo D.

**Figura 37.** Diagrama GRASIA asociado a la interacción *Programar PMP*



**Fuente:** propia, abril de 2010

La figura 37 muestra el diagrama GRASIA asociado a la interacción *Programar PMP*, este diagrama indica la interacción entre el agente *Comunicador*, el agente *Planificador de Programas* y el agente *Planificador de Materiales* a través de los roles *Comunicador con Dirección de Empresa y Taller*, *Planificador de Producción y Embalaje* y *Programador de Capacidad Detallada* respectivamente, estas interacciones son necesarias para satisfacer el objetivo *Realizar PMP*. El agente *Comunicador* inicia la interacción al ejecutar las tareas *Comunicar con CAP* y *Comunicar con VENTAS* para informar el Plan Agregado y el Proyecto de Inversiones respectivamente, considerados hechos incluidos en las unidades de interacción correspondientes. El agente *Planificador de Programas* colabora cuando recibe los hechos de cada unidad de interacción y procesa la información por medio de la tarea *Establecer Programa de Producción*, para obtener el PMP.

Se presenta otra interacción en donde el agente *Planificador de Materiales* inicia y el agente *Planificador de Programas* colabora, en la cual el iniciador informa la solicitud de

modificaciones en el PMP cuando el Plan de Materiales no es viable, generada por medio de la tarea *Modificar la Programación por Capacidad Detallada*, o la aprobación del Plan de Materiales generada por medio de la tarea *Verificar Viabilidad Plan de Materiales* cuando el plan de materiales es viable. Si se ha aprobado el Plan de Materiales ocurre una interacción, en la cual el agente *Planificador de Programas* informa el plazo de suministro al agente *Comunicador*, para que éste informe a VENTAS por medio de la tarea *Comunicar con VENTAS*. Respecto al orden de ejecución de las unidades de interacción es necesario examinar el diagrama de flujo del proceso de PPC para determinar la secuencia en que se presenta cada flujo de información y así relacionar las unidades de interacción como se muestra en figura 38.

**Figura 38.** Ordenación de las unidades de interacción en la interacción *Programar PMP*



**Fuente:** propia, abril de 2010

Para definir el comportamiento del agente se generan modelos de agente, los cuales detallan los patrones de estado mental, en donde se describen los estados mentales iniciales e intermedios del agente. Para definir los estados mentales iniciales se utiliza la actividad **36 detallar el estado mental inicial** en el cual se asocia directamente el agente al estado inicial, además este contiene el objetivo del agente y las entidades mentales consideradas condiciones de inicio para la creación del agente. Los estados mentales intermedios se definen en la actividad **37 detallar los estados intermedios**, los cuales provienen de los requisitos de los modelos de interacción y como resultado de la ejecución de tareas. En el primer caso, se tiene una referencia directa en las unidades de interacción a patrones de estado mental. En el segundo, hay que revisar las tareas del sistema para estudiar qué entidades mentales producen y los patrones de estado mental asociados. Además el estado mental intermedio tiene asociado el objetivo que persigue la tarea realizada por el agente ejecutor y las entidades mentales producidas. A continuación se muestra en la tabla 20 el estado mental inicial y los estados mentales intermedio de cada agente. Los modelos de agente que definen el control del agente a través de los estados mentales se detallan en el Anexo D.

**Tabla 20.** Estados mentales para cada agente

Tareas	Estados Mentales	Agentes
	Condición inicio planificación producción (Inicial)	
Establecer programa de producción	Programa producción	Planificador de Programas
	Envía PMP aprobado	
	Envía PMP aprobado por plan de materiales	
Establecer programa de embalaje	Programa embalaje	
Determinar orden extra	Determina orden extra	
Controlar y reservar de existencias	Controla y reserva existencias	
Determinar Tiempo Ciclo	Calcula tiempo ciclo	
Calcular cap necesaria aprox	Determina cap necesaria aprox	
Determinar necesidades exterior	Define medidas ajuste aprox	
Determinar cap disp aprox	Determina cap dis aprox	
Determinar % estado	Determina % disponibilidad	
Verificar viabilidad PMP	Verifica viabilidad PMP	
	Condición inicio planificación materiales (Inicial)	
Realizar CRP	Determina cap necesaria deta	Planificador de Materiales
Controlar actividades previas de diseño	Calcula ciclos	
Chequear disponibilidad de materiales	Chequea materiales	
Chequear disponibilidad de recursos	Chequea recursos	
Chequear disponibilidad de almacenamiento	Chequea almacenamiento	
Comunicar capacidad disponible detallada	Comunica cap disp deta	
Verificar viabilidad del Plan de Materiales	Verifica viabilidad plan fab interior	
Modificar la Programación por Capacidad Detallada	Determina medidas ajuste deta	
Calcular Aprov y Generar Propuesta	Propone pedido compra	
Determinación necesidades consumo	Determina necesidades consumo	
Controlar existencias	Controla existencias	
Reservar materiales	Reserva materiales	
Desglosar lista de piezas	Elabora lista materiales	
Determinar necesidades brutas y netas	Elabora plan de materiales	
	Envía plan materiales aprobado	
	Condición inicio control	
Redactar orden de trabajo	Redacta orden	Controlador de la Producción
Autorizar orden de trabajo	Autoriza orden de trabajo	
Realizar pedido exterior	Realiza pedido exterior	
Controlar avance orden	Informa progreso orden	
	Verificar la producción	
Revisar cuellos de botella	Revisa cuellos de botella	
Seguir Cargas	Informa cargas para CRP	
Comunicar mercancías y supervisar capacidad	Supervisa cap disp deta	
	Supervisa cap disp aprox	
	Comunica recepción mercancías y capacidad	
Supervisar orden pedido de cliente	Supervisa pedido cliente	
	Condición inicial administra inventario	
Realizar inventario permanente	Envía disponibilidad inventario	Administrador de inventario
	Registra inv permanente	
Realizar inventario fecha fija	Registra inv fecha fija	
Calcular y reportar balance de inventario	Genera balance de inv	Agente Comunicador
Acumular costos de producción	Acumula y envía costos	
Comunicar con CI	Solicita costos	
Comunicar con CAP	Envía plan agregado	
	Informa a establecer PMP	
	Informa a calcular cap aprox	
	Informa a plan de materiales	
	Informa a cap detallada	
	Especificaciones de embalaje	
Comunicar con CF	Comunica disp aprox	
	Informa a planificación deta	
	Supervisa progreso orden	
	Informa inventario	
	Envía progreso orden	
	Informa disp a CAP	
	Informa estado pedido cliente	
Comunicar con VENTAS	Envía pedido extra	
Comunicar con Conservación	Solicita materiales mantenimiento	
Comunicar con Almacén	Activa inventario desde almacén	
	Informa disp inventario	
Comunicar con PE	Envía plan de programa Pn	
Comunicar con COMPRAS	Comunica recepción mercancías	

Fuente: propia, mayo 2010

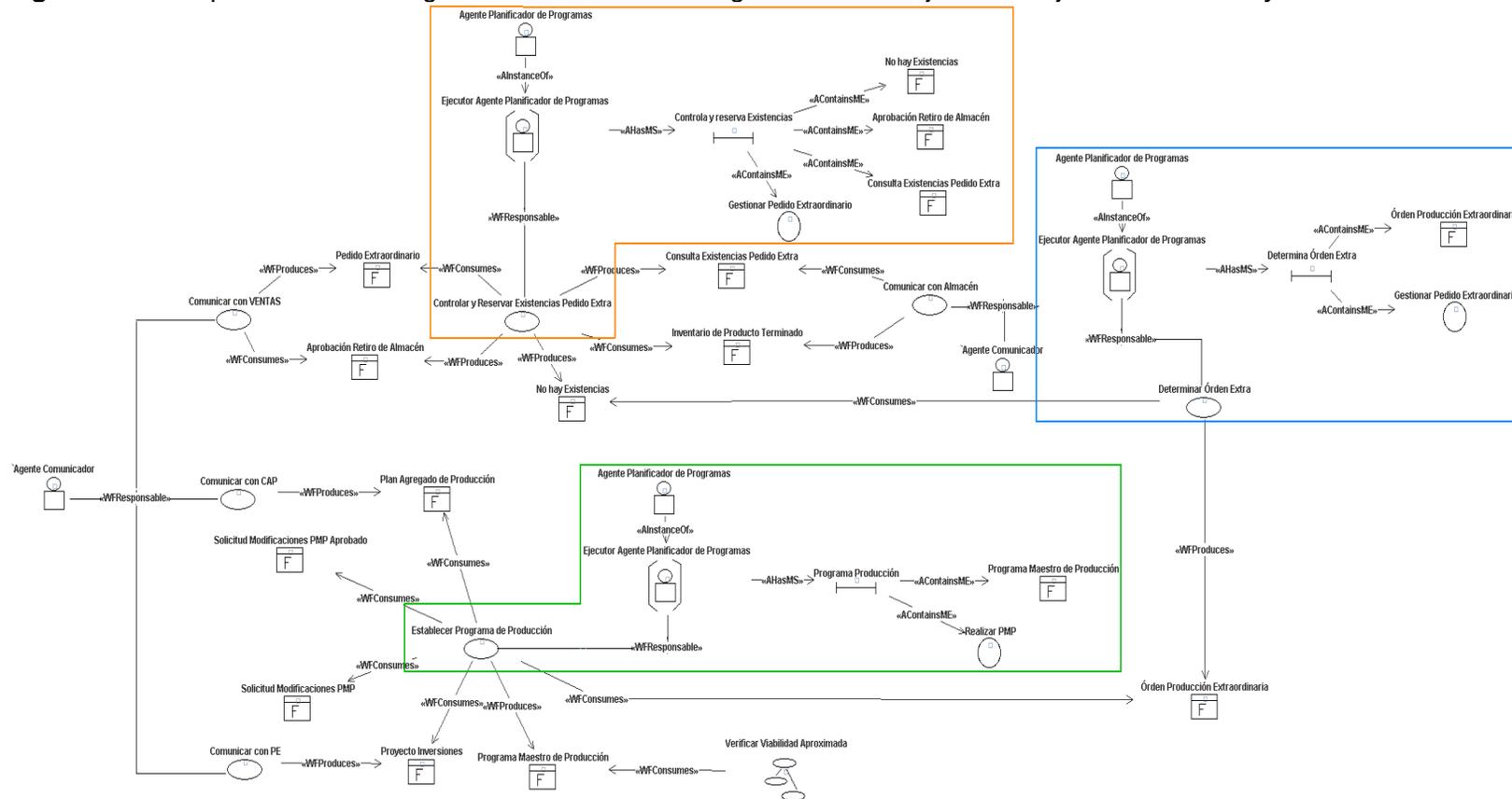
## 4.2 VERIFICACIÓN DEL MODELO DINÁMICO DE PPC

Para evidenciar la dinámica del modelo resultante con SMA de PPC, se pretende mostrar el ciclo de vida de un agente dando a conocer su comportamiento dinámico y su evolución en el tiempo por medio de las relaciones entre las entidades definidas en el modelo asociadas a él.

La funcionalidad y el modo de operación de cada uno de los agentes depende de los roles que asuman estos agentes cuando estén ejecutando una tarea, ya que el cambio de un rol a otro, permite apreciar el comportamiento dinámico asumido por cada agente. La funcionalidad del sistema se evidencia en los flujos de trabajo, que pretenden optimizar la gestión de la organización, asegurando que las diferentes tareas se desarrollen en el momento indicado, controlando continuamente que el flujo de información sea el adecuado dentro de la organización. La ejecución de la secuencia de tareas permite afectar los objetivos asociadas a ellas, logrando satisfacerlos, o en caso de no ejecutarse, hacerlos fallar. A medida que se satisfacen los objetivos asociados a las tareas, el gestor de estado mental permite la evolución del estado mental generando cambios de un estado mental intermedio a otro.

Debido a que el proceso de PPC está compuesto por cinco agentes y las entidades relacionadas con ellos son muchas, se detalla el ciclo de vida del agente *Planificador de Programas* en el flujo de trabajo *Elaborar PMP y Atender Pedido Extra*. Para caracterizar los diferentes estados por los que pasa el agente *Planificador de Programas*, se utilizan los modelos de agente, específicamente los diagramas que contienen los estados mentales del agente. Inicialmente el agente debe cumplir una condición que indique su creación definida en el estado mental inicial. Después de ser creado, el agente pasa por los estados mentales intermedios *Programa producción (verde)*, *Controlar y Reserva Existencias (naranja)* y *Determina Orden Extra (azul)* dependiendo de las tareas que se encuentre ejecutando, las cuales obedecen a la secuencia definida en el flujo de trabajo *Elaborar PMP y Atender Pedido Extra* y las decisiones tomadas por el procesador de estado mental, como se muestra en la figura 39.

**Figura 39.** Comportamiento del agente *Planificador de Programas* en el flujo de trabajo *Elaborar PMP y Atender Pedido Extra*

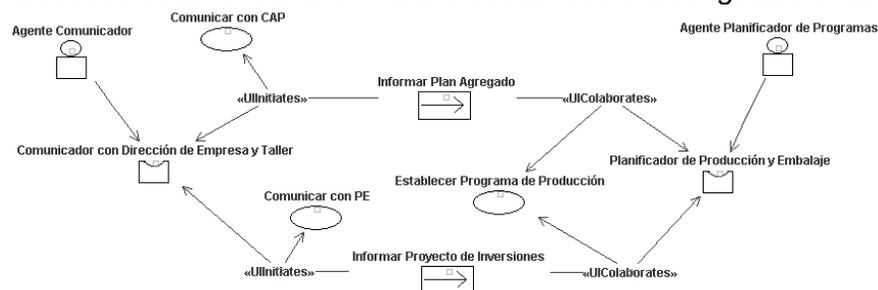


Fuente: propia, mayo de 2010

La figura 39 describe las entidades mentales intercambiadas en el flujo de trabajo *Elaborar PMP* y *Atender Pedido Extra*, los estados mentales asociados al agente *Planificador de Programas* y las interacciones necesarias para llevar a cabo el flujo de trabajo. El propósito de flujo de trabajo es realizar el PMP, para tal caso existen dos situaciones iniciales:

La primera situación considera la llegada de la programación a largo plazo por medio de la interacción *programar PMP* en la cual el agente *Comunicador* informa el *Plan Agregado de Producción* y el *Proyecto de Inversiones* por medio de las tareas *Comunicar con CAP* y *Comunicar con PE* respectivamente al agente *Planificador de Programas*, como se muestra en la figura 40.

**Figura 40.** Unidades de interacción asociadas a la interacción *Programar PMP*



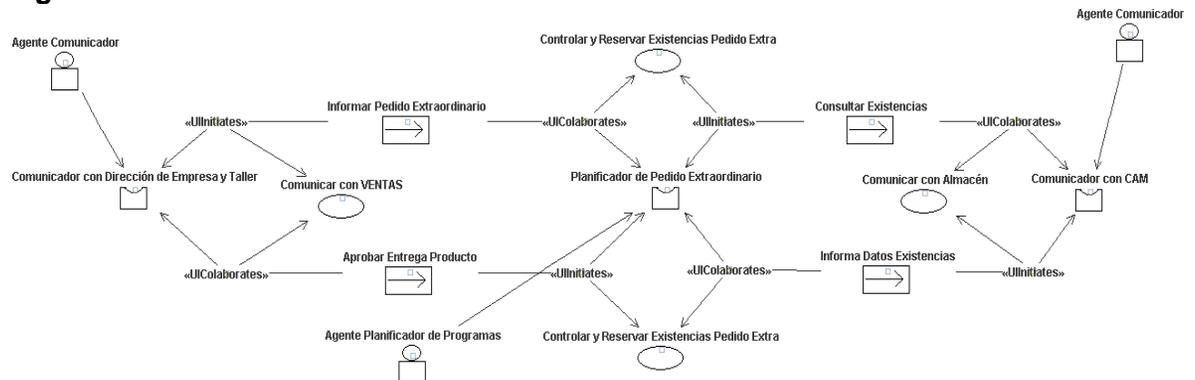
**Fuente:** propia, mayo de 2010

El agente *Planificador de Programas* procesa la información por medio de la tarea *Establecer Programa de Producción*, la cual tiene asociado el estado mental *Programa Producción*, este estado mental intermedio se encuentra activo mientras la tarea se está ejecutando con el fin de satisfacer el objetivo *Realizar PMP*, como se muestra en el recuadro verde de la figura 39, terminada la tarea se produce el hecho *Programa Maestro de Producción* y el gestor de estado mental cambia el estado mental intermedio, que para el flujo de trabajo descrito indica un estado mental contenido en el siguiente flujo de trabajo *Verificar Viabilidad Aproximada*.

La segunda situación recibe un pedido extraordinario por medio de la interacción *Atender pedido Extra*, en la cual el agente *Comunicador* informa el *Pedido Extraordinario* por medio de la tarea *Comunicar con Ventas* al agente *Planificador de Programas*, este agente procesa la información por medio de la tarea *Controlar y Reservar Existencias Pedido Extra*, la cual tiene asociado el estado mental *Controla y Reserva Existencias*, este estado mental intermedio se encuentra activo mientras la tarea se está ejecutando con el fin de satisfacer el objetivo *Gestionar el Pedido Extraordinario*, como se muestra en el recuadro naranja de la figura 39. Para realizar esta tarea es necesaria la interacción con el agente *Comunicador* al cual se le envía una *Consulta de Existencias Pedido Extra*, este agente procesa la información por medio de la tarea *Comunicar con Almacén* y envía como respuesta el *Inventario de Producto Terminado*. Con esta información el agente *Planificador de Programas* determina si las existencias suplen el requerimiento de

producto terminado. Si las existencias suplen el requerimiento de producto terminado se realiza la interacción *Atender pedido Extra*, en la cual el agente *Planificador de Programas* informa la *Aprobación Retiro de Almacén* al agente *Comunicador*. Las unidades de interacción asociadas a la interacción *Atender Pedido Extra* nombradas anteriormente se muestran en la figura 41.

**Figura 41.** Unidades de interacción asociadas a la interacción *Atender Pedido Extra*



**Fuente:** propia, mayo de 2010

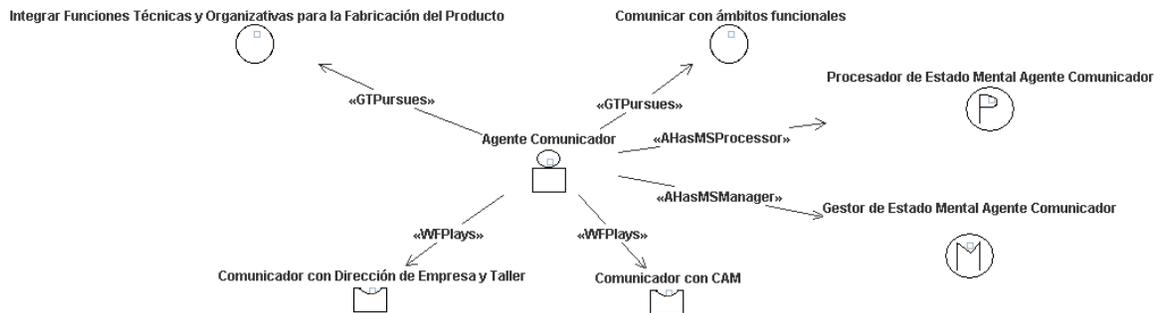
Si las existencias no suplen el requerimiento de producto terminado se produce el hecho *No hay Existencias* dando por terminada la ejecución de la tarea *Controlar y Reservar Existencias Pedido Extra*, lo cual implica que el gestor de estado mental evoluciona hacia el siguiente estado mental intermedio *Determina Orden Extra* asociado a la tarea *Determinar Orden Extraordinaria*, este estado mental intermedio se encuentra activo mientras la tarea se está ejecutando con el fin de satisfacer el objetivo *Gestionar el Pedido Extraordinario*, como se muestra en el recuadro azul de la figura 39. Terminada la tarea se produce la *Orden de Producción Extraordinaria*, lo cual implica que el gestor de estado mental evoluciona hacia el siguiente estado mental intermedio *Programa Producción* asociado a la tarea *Establecer Programa de Producción*. Este estado mental intermedio se encuentra activo mientras la tarea se está ejecutando con el fin de satisfacer el objetivo *Realizar PMP*, como se muestra en el recuadro verde de la figura 39, terminada la tarea se produce el hecho *Programa Maestro de Producción* y el gestor de estado mental cambia el estado mental intermedio, que para el flujo de trabajo descrito indica un estado mental contenido en el siguiente flujo de trabajo *Verificar Viabilidad Aproximada*.

Para especificar la actuación del estado mental en todas las actividades que realiza el agente se utilizan los patrones de estado mental, los cuales se incluyen en las relaciones de los flujos de trabajo (WFProduce) y en las interacciones específicamente en las relaciones de las unidades de interacción (UInicia, UIColabora), que permiten pasar entidades mentales (hechos) de un agente a otro, y así interactuar con otros agentes que participan en el flujo de trabajo.

### 4.3 INTEGRACIÓN EMPRESARIAL EN EL MODELO DINÁMICO DE PPC

Para integrar los flujos de información del proceso de Programación y Control de la Producción se especifica en el modelo dinámico el agente *Comunicador* que permite la comunicación de PPC con los demás ámbitos para producir el intercambio de datos adecuado que se requiere en la organización. En la figura 42 se muestra la funcionalidad y el modo de operación del agente *Comunicador*, que depende, en gran medida, de los roles que asuma cuando esté ejecutando una tarea, ya que mediante los roles se puede apreciar el comportamiento dinámico.

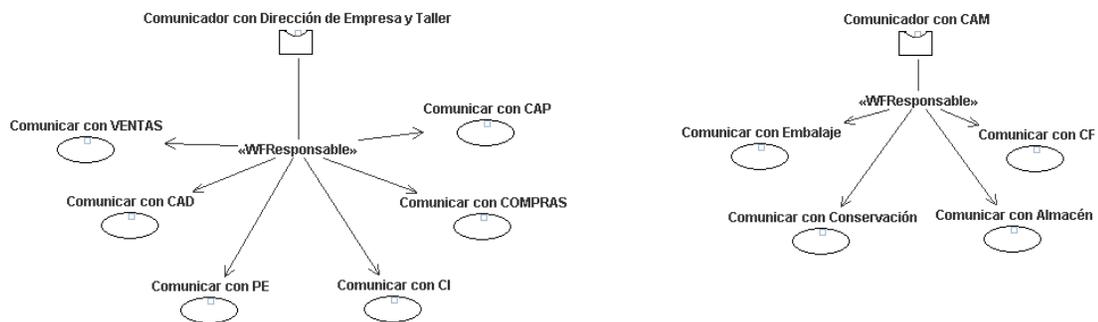
**Figura 42.** Modelo de agente para el agente *Comunicador*



**Fuente:** propia, abril de 2010

Para satisfacer el objetivo específico *Comunicar con ámbitos funcionales*, el cual contribuye a la realización del objetivo global de la organización *Integrar Funciones Técnicas y Organizativas para la Fabricación del Producto*, es necesario ejecutar las tareas mostradas en la figura 43 a través de los roles *Comunicar con Dirección de Empresa y Taller* y *Comunicar con CAM*. Cada tarea evidencia la comunicación con un ámbito funcional y se ejecuta por medio de las interacciones entre el agente *Comunicador* y los demás agentes de la organización mostradas en el Anexo D obteniendo como resultado la integración de los flujos de información internos y externos de PPC.

**Figura 43.** Responsables de la ejecución de tareas para el agente *Comunicador*



**Fuente:** propia, abril de 2010

#### 4.4 REPRESENTACIÓN DINÁMICA DE PPC

De acuerdo al modelo dinámico del proceso de programación y control de la producción obtenido, se realiza la representación dinámica con SMA mostrada en la figura 44, en donde se observa cómo los agentes interactúan a través de su comportamiento dinámico (roles) para ejecutar los flujos de trabajo, los cuales contienen las tareas que conforman el proceso de PPC.

Con el fin de elaborar una representación dinámica de PPC que posteriormente permita la comparación con el modelo dinámico obtenido de la validación en la empresa caso de estudio, se especifica para cada flujo de trabajo las tareas que contiene y los agentes asociados que permiten su realización. Para indicar cuántas tareas contenidas en un flujo de trabajo son ejecutadas por cada agente, se muestra en la asociación el número de tareas a realizar. Los agentes que no tienen número en la asociación únicamente envían información que permite la ejecución de tareas.

Además, se aprecia cómo el agente *Comunicador* logra la integración con los demás ámbitos funcionales, proporcionando la información necesaria en el momento adecuado para cada flujo de trabajo. A continuación, se muestra en la tabla 21, el código de colores utilizado para diferenciar en qué flujo de trabajo están actuando los agentes.

**Tabla 21.** Código de colores para los flujos de trabajo de PPC

Flujos de Trabajo	Color
Elaborar programa y atender pedido extra	
Verificar viabilidad aproximada	
Elaborar plan de materiales	
Verificar viabilidad detallada	
Lanzar ordenes de trabajo	
Seguir ordenes de trabajo	
Gestionar Inventario	

**Fuente:** propia, mayo de 2010



Teniendo en cuenta las características de los agentes y los sistemas multiagente del capítulo 1, se concluye que el modelo dinámico de PPC cumple las cualidades de la tecnología de agentes. En la tabla 22 se especifica cada una de las características y los modelos del SMA que permiten su realización.

**Tabla 22.** Características de los SMA en el modelo dinámico de PPC

AGENTES		
Características	Modelo Dinámico de PPC	Comentario
Autonomía	Modelo de Agente (Procesador y Gestor de Estado Mental)	Los agentes son semiautónomos
Sociabilidad	Modelo de Interacción	El agente puede interactuar con otros agentes o usar aplicaciones.
Racionalidad	Modelo de Objetivos y Tareas	Los agentes actúan de acuerdo a objetivos ( <i>Principio de racionalidad</i> )
Reactividad	Modelo de Entorno	
Pro-Actividad	Modelo de Objetivos y Tareas (Asociación de tareas y objetivos)	El agente sabe que tareas ejecutar de acuerdo sus objetivos.
Adaptabilidad	Modelo de Agente (Procesador y Gestor de Estado Mental)	el estado mental del agente evoluciona con el tiempo, lo cual incluye el aprendizaje entre las capacidades del agente
Veracidad	Modelo Objetivos y Tareas (Hechos producidos y consumidos por una tarea)	La ejecución de tareas únicamente produce los hechos asociados
Benevolencia	Modelo de Interacción y Modelo Objetivos y Tareas	El agente interactúa con otros agentes para satisfacer el objetivo global si no está en contra de sus propios objetivos.
SISTEMA MULTIAGENTE		
Organización Social	Modelo de Organización (Estructura del Sistema)	La organización está constituida por grupos, agentes, roles, aplicaciones y flujos de trabajo
Cooperación	Modelo de Interacción	Los agentes cooperan con otros agentes para lograr el objetivo de global de la organización
Coordinación	Modelo de Organización (Flujos de Trabajo)	El flujo de trabajo coordina las tareas a realizar
Control	Modelo de Agente (Estados Mentales, Procesador y Gestor de Estado Mental)	El estado mental puede verse como toda aquella información que permite al agente tomar decisiones. Esta información es gestionada y procesada para producir las decisiones del agente

**Fuente:** propia, mayo de 2010

La metodología INGENIAS proporciona las propiedades y comportamientos dinámicos que requiere el modelado del proceso de programación y control de la producción, obteniendo como resultado el modelo dinámico de PPC por medio de la especificación de entidades del SMA.

## 5. VALIDACIÓN DEL MODELO DINÁMICO EN LA EMPRESA CASO DE ESTUDIO

Este capítulo muestra la validación del modelo dinámico en la empresa caso de estudio: “Industria Licorera del Cauca (ILC)” mediante la correlación de los flujos de información y subfunciones del modelo obtenido con el sistema de información y procedimientos realizados en la empresa caso de estudio, para identificar las entidades del SMA presentes en el modelo dinámico del proceso de programación y control de la producción que aplican en la empresa caso de estudio.

### 5.1 DESCRIPCIÓN DE LOS PROCESOS DE LA EMPRESA CASO DE ESTUDIO

**5.1.1 Proceso de Producción de la Industria Licorera del Cauca:** la empresa caso de estudio: “Industria Licorera del Cauca” ubicada en la ciudad de Popayán, está dedicada a producir y comercializar licores de calidad para satisfacer a los clientes y consumidores.

En la figura 45 se muestra el proceso de producción por lotes para la elaboración de aguardiente de la empresa caso de estudio, diferenciando cada una de las etapas involucradas: recepción del alcohol, preparación de aguardiente y, proceso de envasado y empacado. Estas etapas se describen en el Anexo E.

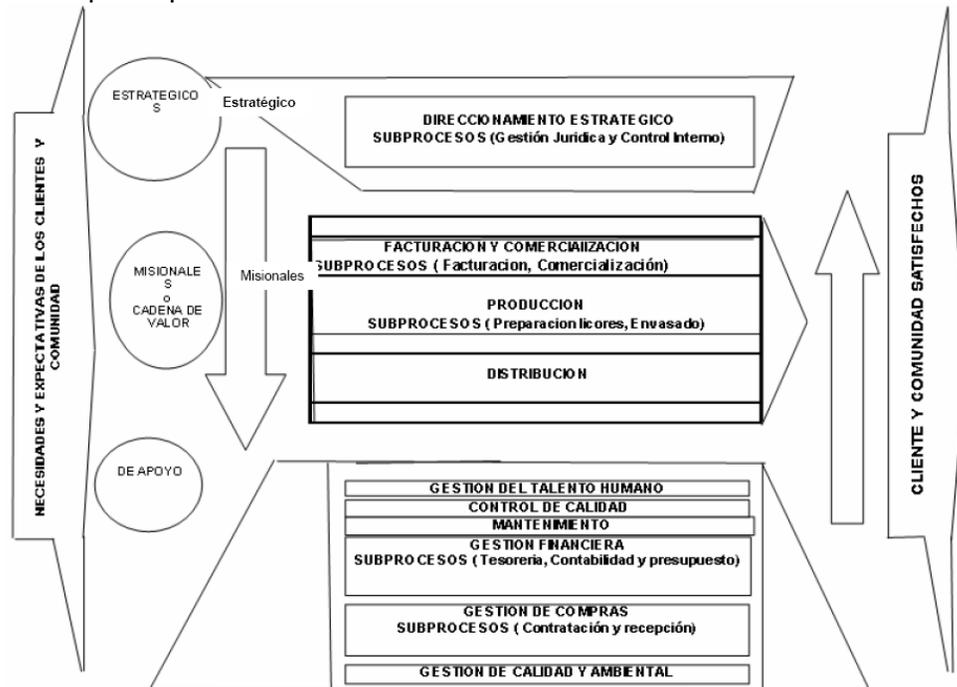
**Figura 45.** Proceso de elaboración de aguardiente en ILC.



**Fuente:** propia, mayo de 2010

**5.1.2 Sistema de Información de la Industria Licorera del Cauca:** la empresa cuenta con la implementación y certificación de un Sistema de Gestión de Calidad (SGC) [18] basado en la NORMA ISO 9001:2000, que especifica los requisitos para un SGC, con el fin de mejorar su rendimiento y productividad en el tiempo. Involucra a todos y cada uno de los miembros de la organización en su dinámica; se caracteriza por el establecimiento de una Política de Calidad, en la cual se incluyen todos los objetivos de la organización, para así llegar a obtener los resultados esperados.

**Figura 46.** Mapa de procesos de la ILC



**Fuente:** Documentación de la Certificación ISO 9001:2000 [18]

En la figura 46 se muestra el mapa de procesos de la ILC, cada uno de los procesos Estratégicos, Misionales y de Apoyo, cuenta con su respectiva caracterización que describe el flujo de entradas y salidas. Debido al carácter confidencial establecido por la empresa para el manejo de la información, se realiza a continuación una breve descripción de los procesos que participan en la programación y control de la producción y las divisiones administrativas que los conforman [18]:

**Direccionamiento Estratégico.** Contiene la División Jurídica y el Control Interno realizados por la gerencia, los cuales establecen las directrices y lineamientos a nivel gerencial para toda la organización.

**Facturación y Comercialización.** Contiene los subprocesos División Comercial y Facturación, encargados de satisfacer las expectativas del cliente y gestionar la consecución de nuevos mercados. Realiza la facturación de ventas.

**Producción.** Contiene la División de Producción, el Grupo de Envasado y Preparación de Aguardiente, encargados de producir licores que se ajusten a las expectativas de los clientes y a la política de la empresa.

**Mantenimiento.** Contiene el subproceso Mantenimiento, encargado de garantizar el funcionamiento normal de la maquinaria y el equipo para que la producción se desarrolle en condiciones controladas, con el fin de cumplir y satisfacer las expectativas de los clientes y las políticas de la empresa.

**Gestión Financiera.** Contiene el Grupo Contabilidad de Costos, encargado de recibir la información necesaria para presentar y analizar los estados financieros, que permitan la adecuada toma de decisiones.

**Gestión Compras.** Contiene la División Jurídica y la Sección Administrativa y Recursos Físicos, los cuales adquieren la materia prima y atienden la solicitud de materiales requeridos por las diferentes secciones de la empresa.

**5.1.3 Proceso de Programación y Control de la Producción de la ILC:** De acuerdo a la información recolectada en las visitas realizadas y al Sistema de Gestión de Calidad (SGC) [18] de la ILC se realiza la descripción del proceso de programación y control de la producción en la empresa caso de estudio. Este proceso inicia en la *División Producción* a partir del *programa de producción* a largo plazo (programación para el año detallando la producción de cada mes) y el presupuesto proveniente de la *Gerencia*, el Jefe de Producción (*División de Producción*) establece un *programa de producción a corto plazo* lo cual indica dividir en ciclos de producción (semanas) el *programa de producción*.

El *programa de producción a corto plazo* se puede modificar por la variación de los pedidos, es decir, cuando existe un pedido extraordinario, lo cual ocurre frecuentemente debido a las necesidades variantes del cliente. En este caso la *División Comercial* determina si existe la cantidad solicitada por el cliente por medio de una consulta al *Grupo Productos Terminados*, si se puede cumplir con el pedido, *Facturación* procede a vender. Por ello la *División de Producción* (Jefe de Producción) verifica continuamente el stock en producto terminado que debe permanecer en 5000 botellas de cada producto, si el nivel de stock no es el indicado se modifica la programación a corto plazo para garantizar la cantidad adecuada de existencias. Si la producción es normal el *programa de producción a corto plazo* no se modifica. Para pedidos extraordinarios de productos especiales como aguardiente en envase pet para los cuales no se maneja un stock en Producto Terminado, la *División Comercial* dirige el pedido hacia la *División de Producción* en donde se reprograma la producción a corto plazo para cumplir el pedido del cliente.

Teniendo en cuenta la programación normal a corto plazo o la solicitud de producción ya sea por nivel bajo de stock o pedido de productos especiales, se procede a realizar el *plan de requerimientos de materiales* para el *programa de producción a corto plazo*, en donde se determina la cantidad total de materia prima y accesorios a utilizar dependiendo del tipo de producto a fabricar, de ello se obtiene la *lista de materiales y suministros*. A partir de ella, el Jefe de Producción (*División de Producción*) verifica la disponibilidad de los materiales necesarios para llevar a cabo la orden de producción a través de una consulta al *Grupo Materiales y Suministros*. Además, revisa los plazos de suministro de los proveedores, para que en el momento de iniciar la producción y en el transcurso de la misma no existan problemas por dicha causa. Una vez los materiales y suministros estén disponibles se reservan y se aprueba su salida hacia el *Grupo de Envasado y Preparación de Aguardiente*. Estos grupos acceden a ellos por medio de continuas requisiciones hacia el *Grupo Materiales y Suministros*.

Si los materiales y suministros necesarios para ejecutar la orden de producción no están disponibles, se establecen los requerimientos necesarios de materia prima para generar la *orden de compra* de dichos materiales con los proveedores seleccionados y enviarla hacia la *Sección Administrativa y Recursos Físicos*. La cantidad de materiales para la producción siempre es sobredimensionada para garantizar stock de materiales.

La verificación de personal y equipo la realiza el Coordinador de Envasado (*Grupo de Envasado*) al inicio y transcurso de la producción, con el fin de determinar si existe disponibilidad de personal y equipo para ejecutar el *programa de producción a corto plazo*. Por lo general la disponibilidad no varía ya que para cualquier orden de producción se cuenta con los mismos recursos los cuales cumplen con la capacidad de fabricación.

La verificación de almacenamiento la realiza el *Grupo Productos Terminados*, el cual determina si existe la capacidad de almacenamiento necesaria para responder al volumen de producto terminado que se va a generar a partir de la ejecución de la orden de producción.

Cumplidas las condiciones de materia prima, personal y equipo, y almacenamiento se procede al lanzamiento de la *orden de producción* elaborada por el Jefe de Producción, la cual se envía al Jefe de Mantenimiento (*División de Producción*) responsable de informar a los Coordinadores de Envasado (*Grupo de Envasado*) y Preparador de Aguardiente (*Preparación de Aguardiente*) la *orden de producción* para iniciar la producción. Si estas condiciones no se cumplen, se informa a *Gerencia* la necesidad de horas extra para completar la capacidad; si aún no es suficiente con la capacidad adicional se modifica el *programa de producción a corto plazo*. Si las condiciones no se cumplen por falta de materiales se modifica el *plan de requerimiento de materiales*.

Cuando se está ejecutando la orden de producción, se realiza el seguimiento de la misma en donde se controla el avance de la *orden de producción* por medio de un informe diario que realiza el Coordinador de Envasado y lo envía al Jefe de Producción. Además se

revisan los cuellos de botella mediante el monitoreo constante del proceso por parte de los Coordinadores de Envasado quienes informan diariamente al Ingeniero de Mantenimiento (*Mantenimiento*) las dificultades en cada etapa del proceso, si las dificultades no se logran solucionar se informa a *Gerencia*. Además, para la orden actual se realiza inventario permanente, diario, por turno y mensual de producto terminado (*Grupo Productos Terminados*), materiales y suministros usados (*Grupo Materiales y Suministros*). Así como también se informa mensualmente al *Grupo Contabilidad de Costos* los costos generados en la producción.

## 5.2 REPRESENTACIÓN DEL PROCESO DE PPC DE LA ILC

En esta sección se realiza la representación del proceso de PPC de la ILC por medio de un diagrama de flujo con el fin de generar una representación similar al diagrama de flujo del proceso de PPC de la figura 5, que facilite la comparación e identificación de las entidades del modelo dinámico que aplican para el proceso de la ILC. El diagrama de flujo del proceso de PPC de la ILC, se obtiene a partir del mapa de procesos mostrado en la figura 46 y la descripción del proceso de programación y control de la producción de la ILC realizada anteriormente, en donde se consideran las divisiones administrativas.

En la tabla 23 se especifica qué procesos de la ILC representan los ámbitos funcionales contenidos en el diagrama de flujo del proceso de PPC, con el objetivo de obtener la representación del proceso de PPC en la empresa caso de estudio

**Tabla 23.** Especificación de los ámbitos funcionales en la ILC

Ámbitos Funcionales	Divisiones Administrativas de la ILC	Procesos de la ILC	
PE	Gerencia	Direccionamiento Estratégico	
PPC	División de Producción	Producción	
CAP			
CF			Grupo de Envasado
			Preparación de Aguardiente
Embalaje			Grupo de Envasado
Almacén			Grupo de Materiales y Suministros
			Grupo de Producto Terminado
CI	Grupo Contabilidad de Costos	Gestión Financiera	
VENTAS	División Comercial	Facturación y Comercialización	
	Facturación		
COMPRAS	Sección Administrativa y Recursos Físicos	Gestión Compras	
Conservación	Mantenimiento	Mantenimiento	
CAD	No existe	No existe	

**Fuente:** propia, mayo de 2010

Tomando como referencia el diagrama de flujo del proceso de PPC, y en particular las subfunciones contenidas en él, se identifica a través del proceso de programación y control de la producción de la ILC cuáles de las subfunciones están presentes en la empresa caso de estudio. A partir de este análisis, se percibe que algunas de las subfunciones y cuadros de decisión aplican en los procedimientos realizados en la ILC, como se muestra en la tabla 24.

Los flujos de información asociados a las subfunciones que no aplican no se consideran en el diagrama de flujo del proceso de PPC de la ILC. Cabe aclarar que la ILC no cuenta con un sistema de bases de datos por lo tanto la utilización de los DATOS MAESTROS no aplica para el proceso de PPC de la ILC.

**Tabla 24.** Subfunciones y cuadros de decisión identificados en el proceso de PPC de la ILC

Subfunciones y cuadros de decisión de PPC	Procesos de la ILC	Resultado en la ILC	Comentario
1.1 Establecer programa de producción	Establecer programa de producción a corto plazo	Programa de producción a corto plazo	
1.2 Establecer programa de embalaje	No se realiza		Las especificaciones de embalaje son conocidas por el Grupo de Envasado, lo cual permite empacar el producto una vez esté envasado el aguardiente en cualquiera de sus presentaciones
Control y Reserva de existencias para pedido extraordinario	No se realiza		División Comercial consulta directamente al Grupo de Producto Terminado las existencias de producto terminado cuando hay pedido especial de aguardiente en envase de vidrio
¿Existencias suplen requerimiento de producto terminado?	No se realiza		
2.1 Determinar la orden de producción extraordinaria	Determinar orden de producción para productos especiales o bajo nivel de stock	Orden de producción extraordinaria	
2.2 Planificación de requerimientos de capacidad de producción	No se realiza		No se calcula la capacidad necesaria para el plan de requerimiento de materiales ya que se utiliza la capacidad necesaria del programa de producción a corto plazo
2.9 Control de actividades previas de diseño, proceso de trabajo	No se realiza		
7.3 Seguimiento de cargas	No se utiliza para calcular capacidad necesaria del plan de requerimiento de materiales		
2.3 Chequear la programación frente a la disponibilidad de materia prima	Chequear disponibilidad de materiales	Materiales disponibles	
2.4 Chequear la programación frente a la disponibilidad de almacenamiento de producto	Chequear disponibilidad de almacenamiento	Capacidad de almacenamiento	
2.5 Chequear la programación frente a la disponibilidad de personal y equipo	Chequear disponibilidad de recursos	Recursos disponibles para la producción	
¿Plan de Materiales es viable?	¿Programa de Producción a corto plazo es viable?		
2.6 Modificar la programación de la producción horariamente teniendo en cuenta la capacidad	Gestionar horas extra para cumplir el programa de producción a corto plazo	Horas extra	
¿Capacidad Disponible Suficiente?	¿Capacidad Disponible Suficiente?	Capacidad disponible adicional	

**Tabla 24. (Continuación)**

Subfunciones y cuadros de decisión de PPC	Procesos de la ILC	Resultado en la ILC	Comentario
<i>¿Modificación por falta de materiales?</i>	<i>¿Modificación por falta de materiales?</i>	Modificación de Plan de requerimientos de materiales	
3.1 Cálculo de aprovisionamiento	Cálculo de aprovisionamiento de materiales	Fechas tentativas de entrega de materiales	
3.3 Determinación de las necesidades controladas por el consumo	Recibir solicitud de repuestos para mantenimiento	Lista de repuestos necesarios para mantenimiento	
3.4 Selección de proveedores	Selección de proveedores	Lista de proveedores	
3.5 Control de existencias de almacén	Verificación de existencias de materiales y suministros	Inventario de materiales	
3.6 Reserva de materiales	Aprobación de salida de materiales para envasado	Materiales reservados y aprobados para producción	
3.7 Acumular costos materia prima, mano de obra, energía y otros costos para transmisión a contabilidad	Calcular costos de producción	Costos generados por producción para Contabilidad	
3.8 Generar la propuesta de pedido de materiales y energía basado en requerimientos a corto plazo	Generar pedido de compra	Pedido de compra	
4.1 Desglose lista de piezas, componentes	Generar lista de materiales y suministros	Lista de materiales y suministros	
4.2 Determinación de necesidades brutas y netas	Realizar plan de requerimiento de materiales	Plan de requerimiento de materiales	
5.1 Determinación del tiempo de ciclo	Informar volumen de producción diario	Volumen de producción diario	
5.2 Calculo de la capacidad necesaria, Ajuste	Calcular capacidad para el programa de producción a corto plazo	Tiempo necesario para producir el pedido solicitado teniendo en cuenta el volumen de producción diario	
5.3 Determinar las necesidades del exterior	No se realiza		Teniendo en cuenta que no se realiza el análisis de capacidad disponible para el programa de producción a corto plazo, tampoco se requiere generar medidas de ajuste transitorio
<i>¿Capacidad Disponible Suficiente?</i>	No se realiza		
<i>¿PMP ha sido modificado?</i>	No se realiza		
5.4 Determinación de la capacidad disponible (Aproximada)	No se realiza		el programa de producción a corto plazo no se ve afectado por la disponibilidad de recursos debido a que el número de trabajadores y los equipos utilizados son los mismos para la producción de aguardiente en cualquiera de sus presentaciones
5.5 Determinación del porcentaje de estado de la capacidad	No se realiza		
7.4 Comunicación de recepción de mercancías, supervisión de la capacidad de producción	No se utiliza para calcular la capacidad disponible del programa de producción a corto plazo		
<i>¿PMP es viable?</i>	No se realiza		No se verifica la viabilidad del programa de producción a corto plazo

**Tabla 24.** (Continuación)

Subfunciones y cuadros de decisión de PPC	Procesos de la ILC	Resultado en la ILC	Comentario
6.1 Redacción de la orden	Redactar y enviar orden de producción	Orden de producción	
6.2 Pedido exterior.	Enviar orden de compra	Orden de compra	
6.3 Autorización de la orden de trabajo en el taller	No se realiza		La orden de producción generada se envía directamente a <i>Preparación de Aguardiente y Grupo de Envasado</i> sin tener en cuenta el estado de la orden de producción anterior
7.1 Control de avance de la orden de trabajo	No se utiliza para autorizar orden de producción		
7.1 Control de avance de la orden de trabajo	Determinar costos generados de la producción	Costos	
7.2 Revisión de cuellos de botella	Revisar cuellos de botella	Cuellos de botella	
7.3 Seguimiento de cargas	Informar capacidad de producción de los recursos	Rendimiento y estado de máquinas	
7.4 Comunicación de recepción de mercancías, supervisión de la capacidad de producción	Comunicación de recepción de mercancías, supervisión de la capacidad de producción	Recepción de mercancías, datos de producción para informar recursos disponibles para la producción	
7.5 Supervisión de la orden de trabajo en el taller, conforme al pedido del cliente	Supervisión de la orden de trabajo en el taller para pedido especial	Estado del pedido del cliente cuando es pedido especial	
8.1 Inventario permanente	Inventario permanente	Inventario permanente	
8.2 Inventario fecha fija	Inventario fecha fija	Inventario fecha fija	
8.3 Calcular y reportar balance de inventario, pérdidas de material y utilización de energía	Reportar balance de inventario	Reporte de inventario	

**Fuente:** propia, mayo de 2010

Como resultado de la descripción del proceso de PPC de la ILC y la identificación de los ámbitos funcionales y subfunciones que participan en su ejecución, se obtiene la representación del proceso de PPC de la ILC a través del diagrama de flujo mostrado en la figura 47. Los flujos de información presentes en el diagrama de flujo del proceso de PPC de la ILC conservan la misma numeración del diagrama de flujo de PPC. Cabe aclarar que los flujos de información eliminados no modifican la numeración establecida, con el fin de facilitar la comprensión y comparación de los diagramas de flujo.

**Figura 47.** Diagrama de flujo del proceso de PPC de la ILC

### 5.3 IDENTIFICACIÓN DE ENTIDADES DEL MODELO DINÁMICO DE PPC PRESENTES EN EL PROCESO DE LA ILC

En esta sección, se identifica las entidades (tareas, agentes, interacciones, hechos, etc.) presentes en cada modelo que conforma el SMA, a partir del diagrama de flujo del proceso de PPC de la ILC de la figura 47, en donde se especifica los ámbitos funcionales, las subfunciones y flujos de información, con el objetivo de validar en la empresa caso de estudio el modelo dinámico de PPC obtenido en el Capítulo 4. A continuación se realiza un análisis de cada modelo del SMA de PPC para determinar qué entidades aplican en la ILC y de esta forma obtener el modelo dinámico de la empresa caso de estudio.

**5.3.1 Modelo de objetivos y tareas.** La validación del modelo dinámico inicia analizando este modelo, debido a que el diagrama de flujo de PPC de la ILC muestra claramente a través de las subfunciones las tareas que contiene la empresa caso de estudio. Como se explicó anteriormente, algunas subfunciones contenidas en el diagrama de flujo de PPC no existen en el diagrama de flujo del proceso de PPC de la ILC, lo cual indica que algunas tareas del modelo dinámico de PPC no aplican, así como tampoco los objetivos asociados a ellas.

La especificación de las tareas y objetivos que aplican al proceso de PPC de la ILC se indican en la tabla 25, lo cual facilita la identificación del SMA, debido a que estas entidades se relacionan con todas las demás.

**Tabla 25.** Identificación de tareas y objetivos para el modelo de PPC de la ILC

Tareas de Modelo Dinámico de PPC	Objetivos Modelo Dinámico de PPC	Tareas de PPC de la ILC	Objetivos de PPC de la ILC
Establecer programa de producción	Realizar PMP	Aplica	Aplica
Establecer programa de embalaje	Realizar programa de embalaje	No aplica	No aplica
Determinar orden extra	Gestionar Pedido Extraordinario	Aplica	Aplica pero no considera la tarea Controlar y reservar de existencias
Controlar y reservar de existencias		No aplica	
Realizar CRP	Establecer capacidad necesaria detallada	No aplica	No aplica
Controlar actividades previas de diseño		No aplica	
Chequear disponibilidad de materiales	Establecer capacidad disponible detallada	Aplica	Aplica pero ya no considera la tarea Comunicar capacidad disponible detallada
Chequear disponibilidad de recursos		Aplica	
Chequear disponibilidad de almacenamiento		Aplica	
Comunicar capacidad disponible detallada		No aplica	
Verificar viabilidad del Plan de Materiales	Determinar viabilidad Plan de Materiales	Aplica	Aplica
Modificar la Programación por Capacidad Detallada	Determinar medidas de ajuste detallada	Aplica	Aplica

**Tabla 25.** (Continuación)

Tareas de Modelo Dinámico de PPC	Objetivos Modelo Dinámico de PPC	Tareas de PPC de la ILC	Objetivos de PPC de la ILC
Calcular Aprov y Generar Propuesta	Proponer pedido compra	Aplica	Aplica
Determinación necesidades consumo	Verificar y reservar existencias	Aplica	Aplica
Controlar existencias		Aplica	
Reservar materiales		Aplica	
Desglosar lista de piezas	Definir lista de materiales	Aplica	Aplica
Determinar necesidades brutas y netas	Determinar Plan de Materiales	Aplica	Aplica
Determinar Tiempo Ciclo	Determinar capacidad necesaria aprox	Aplica	Aplica
Calcular cap necesaria aprox		Aplica	
Determinar necesidades exterior	Determinar medidas de ajuste transitorio aprox	No aplica	No aplica
Determinar cap disp aprox	Determinar capacidad disponible aprox	No aplica	No aplica
Determinar % estado		No aplica	
Verificar viabilidad PMP	Determinar viabilidad PMP	No aplica	No aplica
Redactar orden de trabajo	Generar orden producción	Aplica	Aplica
Autorizar orden de trabajo		Aplica	
Realizar pedido exterior	Enviar orden de compra	Aplica	Aplica
Controlar avance orden	Verificar la producción	Aplica	
Revisar cuellos de botella		Aplica	
Seguir Cargas		Aplica	
Comunicar mercancías y supervisar capacidad		Aplica	
Supervisar orden pedido de cliente		Aplica	
Realizar inventario permanente	Realizar inventario	Aplica	
Realizar inventario fecha fija		Aplica	
Calcular y reportar balance de inventario	Calcular y reportar costos de producción	Aplica	Aplica
Acumular costos de producción		Aplica	

**Fuente:** Propia, mayo de 2010

Las tareas y objetivos asociados al agente *Comunicador* se consideran en el proceso de PPC de la ILC exceptuando las tareas *Comunicar con CAD* y *Comunicar con Embalaje*, debido a que no existe una división administrativa que represente al ámbito funcional CAD y no se realiza programa de embalaje. Por lo tanto, los objetivos asociados a estas tareas no aplican en la ILC.

**5.3.2 Modelo de entorno.** La aplicación identificada en la organización como Datos Maestros, en este caso no existe, debido a que la ILC no cuenta con ninguna herramienta software o sistema de base de datos utilizada para el proceso de PPC, por lo tanto el modelo de entorno no aplica.

**5.3.3 Modelo de agente.** Se considera que los agentes que conforman el SMA de PPC, son los mismos para el proceso de PPC de la ILC, así como también los roles que desempeñan, la diferencia está en la cantidad de tareas que son responsables de ejecutar, como se muestra en la tabla 26. Debido a que las tareas asociadas a cada agente disminuyen, se reducen los estados mentales por los que pasa el agente durante su ciclo de vida.

**5.3.4 Modelo de organización.** La arquitectura del sistema conserva la misma estructura como se aprecia en la equivalencia de la tabla 24, por ello los grupos, subgrupos y flujos de trabajo se consideran para el SMA de PPC de la ILC. Debido a que las tareas que conforman los flujos de trabajo disminuyen, se reducen las entidades mentales consumidas y producidas por ellas, como se muestra en la tabla 26.

**Tabla 26.** Asociación de tareas con agentes y flujos de trabajo de la ILC

Agentes	Flujos de Trabajo							Tareas
	1	2	3	4	5	6	7	
Agente Planificador de Programas	x			x				Establecer programa de producción
	x							Determinar orden extra
		x						Determinar Tiempo Ciclo
		x						Calcular cap necesaria aprox
Agente Planificador de Materiales				x				Chequear disponibilidad de materiales
				x				Chequear disponibilidad de recursos
				x				Chequear disponibilidad de almacenamiento
				x				Verificar viabilidad del Plan de Materiales
				x				Modificar la Programación por Capacidad Detallada
			x					Calcular Aprov y Generar Propuesta
			x					Determinación necesidades consumo
			x					Controlar existencias
			x					Reservar materiales
			x					Desglosar lista de piezas
Agente Controlador de la Producción					x			Determinar necesidades brutas y netas
					x			Redactar orden de trabajo
					x			Realizar pedido exterior
						x		Controlar avance orden
						x		Revisar cuellos de botella
						x		Seguir Cargas
				x		x		Comunicar mercancías y supervisar capacidad
Agente Administrador de Inventario							x	Supervisar orden pedido de cliente
			x				x	Realizar inventario permanente
							x	Realizar inventario fecha fija
							x	Calcular y reportar balance de inventario
Agente Comunicador							x	Acumular costos de producción
	x	x	x			x		Comunicar con CAP
	x			x		x		Comunicar con PE
							x	Comunicar con CI
	x			x			x	Comunicar con Ventas
					x	x		Comunicar con Compras
			x		x			Comunicar con Conservación
	x		x	x		x	x	Comunicar con Almacén
			x	x	x	x	Comunicar con CF	

**Fuente:** propia, mayo de 2010

**5.3.5 Modelo de interacción.** Las interacciones entre agentes se ven afectadas por la reducción de tareas, ya que eliminan unidades de interacción y en algunos casos interacciones por completo, como se muestra en la tabla 27.

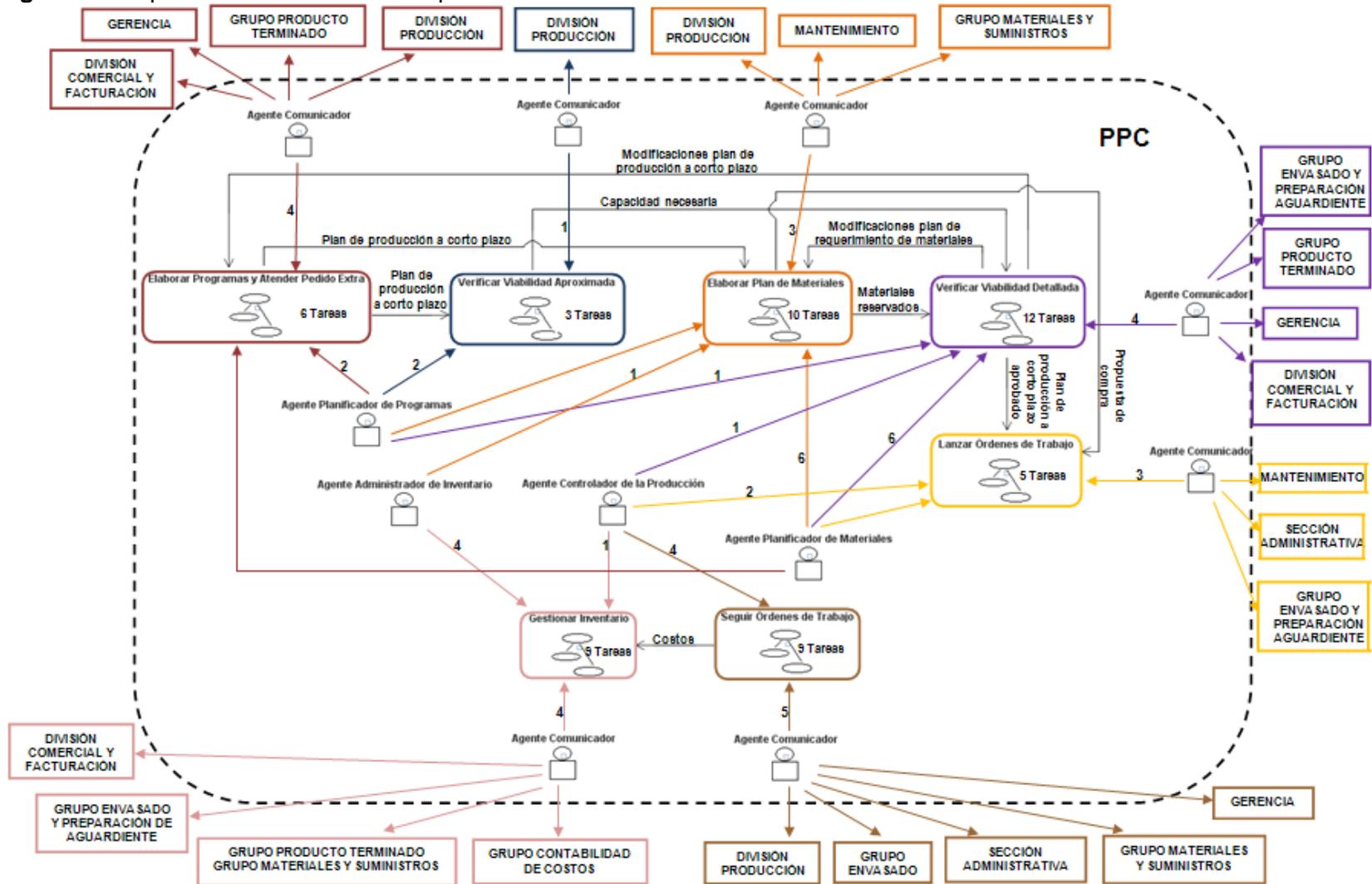
**Tabla 27.** Especificación de interacciones que aplican en el SMA de la ILC

Interacciones de PPC	Interacciones de PPC en la ILC
Programar PMP	Aplica
Programar Embalaje	No aplica
Atender Pedido Extra	Aplica
Determinar Capacidad Necesaria Aprox	Aplica
Determinar Disponibilidad Aprox	No aplica
Ajustar Medidas Aprox	No aplica
Determinar Capacidad Detallada	No aplica
Determinar Disponibilidad Detallada	Aplica
Ajustar Medidas Detallada	Aplica
Determinar Materiales	Aplica
Determinar necesidades de Materiales	Aplica
Listar Piezas	Aplica
Lanzar Orden Producción	Aplica
Lanzar Orden Compra	Aplica
Supervisar Producción	Aplica
Activar Inventario	Aplica
Reportar Costos	Aplica

**Fuente:** propia, mayo de 2010

La validación del modelo dinámico de PPC a través de la identificación de las entidades del SMA realizado anteriormente, genera como resultado el modelo dinámico de PPC de la ILC. Éste se presenta en medio magnético en el Anexo F. Para facilitar la comprensión del modelo de PPC de la ILC, se realiza una representación dinámica del proceso de PPC con SMA de la ILC que conserva el código de colores de la tabla 21, como se muestra en la figura 48; permite reflejar las diferencias establecidas anteriormente respecto a la representación dinámica del proceso de PPC de la figura 44.

Figura 48. Representación dinámica del proceso de PPC con SMA de la ILC



Fuente: propia, mayo de 2010

De acuerdo al análisis realizado al proceso de programación y control de la producción de la ILC y a la confrontación de los modelos dinámicos obtenidos, se concluye que:

La ILC no ejecuta el programa de producción a corto plazo en el tiempo programado, debido a que no se realiza un adecuado seguimiento de la producción, es decir, no se controla el avance de la orden de producción para verificar si cumple con lo planeado; ignorando las razones que impiden el correcto funcionamiento, lo cual imposibilita corregirlas en la próxima programación. Tampoco tiene en cuenta el seguimiento de las cargas, con el fin de planificar las necesidades de capacidad en cada centro de trabajo para los pedidos planificados por el plan de requerimientos de materiales generado, para posteriormente comparar estas necesidades de capacidad con la capacidad disponible de materiales, recursos y almacenamiento, como se especifica en el modelo de PPC.

La ILC no logra obtener información confiable y oportuna sobre la operación y gestión realizada debido a que no realiza un correcto manejo de los flujos de información entre las divisiones administrativas de la empresa que participan en el proceso de programación y control de la producción. Una de las fallas más importantes se observa en la ausencia de comunicación entre la división Comercial y la división de Producción cuando se realiza una venta de aguardiente en envase tradicional (producción normal), lo cual genera variaciones en el nivel de stock. Por ello, la ILC basa la programación de la producción a corto plazo en mantener un nivel de stock adecuado, sin importar la planeación a largo plazo, ya que está no considera estas variaciones de demanda debido a la ineficiencia de los pronósticos de ventas que permiten generar la planeación a largo plazo. Como solución inicialmente se recomienda la mejora de los pronósticos de ventas por parte de la división Comercial de la ILC y posteriormente la adopción de los flujos de información indicados en el diagrama de flujo de la figura 5, que permiten la continua comunicación entre estas dos divisiones y eviten las continuas modificaciones en la programación de la producción a corto plazo. Otra recomendación que se debe tener en cuenta para lograr la integración empresarial en la ILC implica el flujo de información hacia Gerencia que informe los cuellos de botella ocurridos en el proceso para que lleve un registro de cuáles son los problemas más frecuentes y los que ocasionan paradas del proceso, con el objetivo de tomar las medidas respectivas que solucionen o prevengan fallas mayores.

Para mejorar el proceso de programación y control de la producción en la ILC es necesario incorporar procedimientos que permitan realizar un programa de producción más detallado por medio de la adopción y aplicación de todas las tareas establecidas en el modelo dinámico de PPC, con el fin de asegurar el cumplimiento del programa de producción a corto plazo, lo cual en la ILC no es muy frecuente, debido a que el lanzamiento de la orden de producción actual no considera el estado o terminación de la orden anterior, simplemente se procede a ejecutar la nueva orden, sin cumplir el volumen de producto terminado establecido en el programa de producción a corto plazo.

La aplicación de todas las funciones, subfunciones y flujos de información del proceso de PPC, mejoran notablemente la coordinación del proceso de PPC de la ILC y su sistema de información, como se puede observar mediante la comparación de los modelos dinámicos obtenidos.

## 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En este capítulo se presentan las diferentes conclusiones que han surgido en el desarrollo del proyecto y se proponen trabajos futuros que tomen como referencia el modelo desarrollado

- El desarrollo de este proyecto proporciona una representación del proceso de PPC, en el cual se detalla tanto su estructura interna como sus relaciones externas especificando la secuencia de ejecución de las subfunciones y los flujos de información necesarios para identificar claramente los elementos y procesos que deben considerarse fundamentales para el modelado y consolidación de la información. A partir de ello, se genera un modelo dinámico del proceso de programación y control de la producción que permite abordar la complejidad del ambiente de manufactura que se considera relevante para la automatización de las empresas.
- El modelo dinámico de PPC contempla la integración empresarial inteligente por medio del Agente Comunicador ya que propone nuevas dinámicas, partiendo de los conceptos de autonomía, racionalidad, adaptabilidad, reactividad, proactividad, etc.; con el fin de controlar, supervisar, programar y planificar un proceso productivo en un ambiente integrado de producción que garantice en todo momento la persecución del objetivo corporativo de la empresa por parte de todos y cada uno de los componentes de la misma.
- Los sistemas de Programación y Control de la Producción requieren nuevos enfoques que consideren sistemas de producción adaptativos (ágiles, capaces de adaptarse a cambios en el ambiente) y sistemas de control inteligentes, flexibles y tolerantes a fallos. Con este objetivo, numerosos enfoques han negado las estructuras centralizadas y jerarquizadas a favor de las distribuidas. Los sistemas multiagente y su interoperabilidad permiten el desarrollo de componentes autónomos, inteligentes y cooperantes capaces de interactuar dinámicamente entre sí para la consecución de objetivos locales y globales.
- El desarrollo de este trabajo se puede considerar una propuesta para obtener sistemas de Programación y Control de la Producción flexibles con propiedades y comportamientos dinámicos a partir de una estructura jerárquica como lo es el modelo Siemens-FIET.

- La validación del modelo dinámico de PPC en la ILC evidencia la carencia de un sistema de integración empresarial que permita la optimización del flujo de la información entre las áreas de la empresa y se logre obtener información confiable y oportuna sobre la operación y gestión realizada, lo cual genera continuos problemas en la administración de la información para llevar a cabo el proceso de control y programación de la producción.
  
- La metodología INGENIAS para el desarrollo de SMA facilita el análisis y diseño del modelado de PPC, ya que permite crear modelos de forma gráfica y trabajar con conceptos de un nivel de abstracción mayor, logrando detallar el proceso de PPC por medio de entidades del SMA; además, dispone de un conjunto de herramientas para verificar el cumplimiento de propiedades específicas de los modelos. Cabe resaltar que la elección de esta metodología se debe a que integra gran parte de propuestas que se han desarrollado en este ámbito. Esta integración se ha producido mediante la experimentación en la realización de múltiples aplicaciones de agentes a lo largo de los últimos años.
  
- Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en este proyecto, se puede concluir que la metodología INGENIAS proporciona las propiedades y comportamientos dinámicos que requiere el modelado de procesos de manufactura, para lograr esto, es necesario utilizar como base un modelo de referencia que proporcione la estructura del sistema a modelar y facilite la identificación de las entidades del SMA.
  
- Como trabajo futuro será importante modelar los demás ámbitos funcionales del modelo Siemens-FIET a través de la metodología INGENIAS, con el fin de obtener la sistema de manufactura integrado, inteligente y distribuido.
  
- La implementación del modelo dinámico de PPC a través de una plataforma de desarrollo se considera como trabajo futuro teniendo en cuenta que la metodología INGENIAS proporciona una herramienta de generación de código: plantillas configurables, marcadas con XML, para distintas plataformas de agentes. Es importante mencionar que el lenguaje de descripción XML, se utiliza para la comunicación multiplataforma en el campo de la automatización industrial, el cual es indispensable para implementar la integración de la información entre los diferentes niveles de una empresa.

## **RECOMENDACIONES ESPECÍFICAS PARA LA INDUSTRIA LICORERA DEL CAUCA**

- Calcular la capacidad disponible del programa de producción a corto plazo.
- Calcular la capacidad necesaria para el plan de requerimientos de materiales.
- Autorizar la orden de producción actual teniendo en cuenta el estado de la orden de producción anterior.
- Comunicar la División Comercial y Facturación con la División de Producción cuando se trate de pedido extraordinario
- Como sugerencia la División Comercial y Facturación debe realizar pronósticos de ventas eficientes que permitan la elaboración del plan de producción a largo plazo teniendo en cuenta la variación de la demanda.
- Comunicar las divisiones administrativas de la empresa con la División de Producción.

## **RECOMENDACIONES SOBRE EL PROCESO DE APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA INGENIAS**

- Para iniciar el proceso de desarrollo, la metodología INGENIAS propone la elaboración de casos de uso para conocer el sistema que se va a modelar, pero consideramos que no es suficiente. Antes de ello se debe detallar el sistema por medio de una herramienta que permita observar de manera grafica los diferentes componentes del sistema como se observa en el diagrama de flujo.
- Analizar la metodología INGENIAS para conocer las cualidades y funcionamiento de las entidades que conformarán el SMA.
- Identificar los componentes del sistema que van a representar cada entidad del SMA, con el fin de lograr una representación que especifique la funcionalidad y características de cada una. Se recomienda identificar inicialmente qué componente va a representar las tareas, teniendo en cuenta que son actividades realizadas en el sistema a modelar para luego agruparlas y asociarlas a roles. Posteriormente asignar roles a los agentes encargados de ejecutar las tareas. La identificación de los agentes facilita la identificación de las interacciones realizadas entre ellos. Además la identificación de los agentes debe considerar qué roles tienen propósitos comunes para asociarlos al agente.
- Se recomienda dividir el sistema a modelar en fases que agrupen las actividades necesarias para su realización, con el fin de establecerlas como flujos de trabajo del SMA.
- Es conveniente asociar un estado mental intermedio a cada tarea con el fin de controlar su ejecución en los flujos de trabajo.

## BIBLIOGRAFIA

- [1]. CHACÓN, E; BESEMBEL, I.; NARCISO, F; MONTILVA, J y COLINA, E. (2002). An integration architecture for the Automation of continuous production complexes. ISA Transactions 41, Universidad de Los Andes.
- [2]. DURAN, Jesús. Técnicas Emergentes para la Automatización Integrada de Procesos Industriales. En: Reporte Técnico # 2; 2006.
- [3]. PEREZ, Lisbeth Carolina. Técnicas Emergentes para la Automatización Integrada de Procesos Industriales. En: Reporte Técnico # 1. 2006.
- [4]. GOMÉZ, Diana Consuelo; MANQUILLO, Carlos Enrique. Adecuación del modelo siemens a las normas ISA s88 e ISA s95 con aplicación ilustrativa a caso de estudio. [Tesis de Pregrado]. Universidad del Cauca. Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones; 2007.
- [5]. BOTTI, Vicente; GIRET, Adriana. Aplicaciones Industriales de los Sistemas Multiagente.
- [6]. OUELHADJ, D; HANACHI, B; BOUZOUIA, C. Arquitectura Multiagente para Monitorización Distribuida en Sistemas de Manufacturación Flexible (FMS).
- [7]. PÉREZ ALVAREZ, Ernesto; BAUTISTA MARAÑÓN, José Ignacio; PÉREZ RÍOS, José Manuel. Aplicación del Paradigma de los Agentes Inteligentes a los Sistemas de Producción. Universidad de Valladolid. Departamento de Organización y Gestión de Empresas.
- [8]. UNICEN. Sistemas de Información para Administración de Operaciones: Manufactura Integrada por Computador (CIM).[Artículo de Internet].  
<http://www.fi.uba.ar/materias/7565/U3-Modelos-parte-B.pdf>.
- [9]. BAUMGARTNER, Horst; KNISCHEWSKI, Klaus; WIEDING, Harald. CIM Consideraciones básicas. Barcelona: Siemens Aktiengesellschaft & Marcombo;1991.
- [10]. DOMÍNGUEZ MACHUCA, José A. Dirección de Operaciones: Aspectos Tácticos y Operativos en la Producción y los Servicios. Madrid; España: McGraw-Hill, 1995.

[11]. AGUILAR, José; ZALLAS, Willie. Sistema Multi-Agente para crear Agentes de Control para el SCDIA. Universidad de Los Andes. Centro de Estudios en Microelectrónica y Sistemas Distribuidos; 2009.

[12]. GIRET BOGGINO, Adriana. ANEMONA: Una Metodología Multi-Agente para Sistemas Holónicos de Fabricación. [Tesis de Doctorado]. Universidad Politécnica de Valencia; 2005.

[13]. CAMACHO, Julia. Estudio del Uso de Sistemas Multiagentes para el Modelado del Tráfico de Autos. [Tesis de Pregrado]. Universidad de Los Andes; 2008.

[14]. GÓMEZ SANZ, Jorge. Modelado de Sistemas Multi-Agente. [Tesis de Doctorado]. Universidad Complutense de Madrid; 2002.

[15]. DELGADO, María del Carmen; CORTÉS, Pablo; MUÑUZURI, Jesús; ONIEVA, Luis. Una revisión sobre los Sistemas Multiagente en la Ingeniería de Organización. Universidad de Sevilla. Grupo Ingeniería de Organización. Escuela Técnica Superior de Ingenieros; 2009.

[16]. CAIRE, G., LEAL, F., CHAINHO, P., EVANS, R., GARIJO, F., GOMEZ SANZ, J. J., PAVÓN, J., KERNEY, P., STARK, J., and MASSONET, P. *Eurescom P907: MESSAGE – Methodology for Engineering Systems of Software Agents*.  
<http://www.eurescom.de/~publicwebSPACE/P900-series/P907/index.htm>.

[17] BRATMAN, Michael E. Intentions, Plans, and Practical Reason. Harvard University Press, 1987.

[18] INDUSTRIA LICORERA DEL CAUCA. Documentación de la Certificación ISO 9001:2000. Popayán-Cauca; 2010.