

# MODELADO DEL PROCESO DE PLANIFICACIÓN DE LA PRODUCCIÓN



**Magda Lucia Rivera Andrade  
Oswaldo Enrique Thola Ortigoza**

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

# **MODELADO DEL PROCESO DE PLANIFICACIÓN DE LA PRODUCCIÓN**

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

Magda Lucia Rivera Andrade  
Oswaldo Enrique Thola Ortigoza

Director  
Álvaro René Restrepo Garcés  
Magister

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

**Nota de Aceptación**

---

---

---

Director:

\_\_\_\_\_  
Msc. Álvaro René Restrepo Garcés

\_\_\_\_\_  
Jurado

\_\_\_\_\_  
Jurado

Fecha de sustentación: Popayán, \_\_\_\_\_

## **AGRADECIMIENTOS**

Los resultados se consiguen cuando el trabajo ha franqueado el camino, el que se pudo esculpir gracias a la ayuda incondicional de Msc. Álvaro René Restrepo Garcés, al grupo de Automatización Industrial, a la Universidad del Cauca, a la Industria Licorera del Cauca, a su jefe de producción Ing. Jaime Mendoza y a nuestros amigos y compañeros.

Eterna gratitud.

## CONTENIDO

<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>Capítulo 1. Planificación de la Producción.....</b>	<b>3</b>
<b>1.1. Planificación de la producción según CIM .....</b>	<b>4</b>
<b>1.2. Planificación de la producción según CIM FIET .....</b>	<b>6</b>
<b>1.3. Subsistemas identificados en el ámbito de Planificación de la Producción .</b>	<b>9</b>
<b>1.3.1. Planificación Agregada .....</b>	<b>9</b>
<b>1.3.2. Gestión de los recursos de los medios de producción .....</b>	<b>11</b>
<b>1.4. Diagrama de flujo funcional del proceso de planificación de la producción.</b>	<b>12</b>
<b>1.4.1. Diseño de la producción. ....</b>	<b>13</b>
<b>1.4.2. Gestión de los recursos de los medios de producción .....</b>	<b>17</b>
<b>1.5. Diagrama de Interconexión entre los diferentes ámbitos funcionales de una empresa. ....</b>	<b>18</b>
<b>Capítulo 2. Tecnologías de modelado.....</b>	<b>25</b>
<b>2.1. Sistemas holónicos (SH) vs Sistemas multiagente (SMA).....</b>	<b>26</b>
<b>2.2. Clasificación de los agentes:.....</b>	<b>28</b>
<b>2.3. Características y Propiedades de los SMA. ....</b>	<b>29</b>
<b>2.3.1. Características de los agentes .....</b>	<b>29</b>
<b>2.3.2. Propiedades de los agentes .....</b>	<b>29</b>
<b>2.3.3. Características de los SMA.....</b>	<b>30</b>
<b>2.4. Metodologías de los SMA.....</b>	<b>30</b>
<b>2.4.1. INGENIAS.....</b>	<b>32</b>
<b>Capítulo 3. MODELADO DEL SISTEMA DE PLANIFICACIÓN DE LA PRODUCCIÓN</b>	<b>37</b>
<b>3.1. El sistema por desarrollar .....</b>	<b>38</b>
<b>3.2. Descripción del proceso de modelado. ....</b>	<b>38</b>
<b>3.2.1. Diagrama de flujo de las actividades de la metodología INGENIAS. ....</b>	<b>39</b>
<b>3.2.2. Resultados Obtenidos.....</b>	<b>41</b>
<b>3.3. Verificación del dinamismo del agente <i>Diseñador de la producción</i> a través de su Gestor y Procesador Mental.....</b>	<b>68</b>

**3.4. REPRESENTACIÓN DE LA INTEGRACIÓN DEL ÁMBITO PLANIFICACIÓN DE LA PRODUCCIÓN CON LOS DEMÁS ÁREAS FUNCIONALES DE UNA EMPRESA.71**

<b>Capítulo 4. PROPUESTA Y EVALUACIÓN DEL MODELO EN LA EMPRESA CASO DE ESTUDIO .....</b>	<b>77</b>
<b>4.1. Planificación de la producción en la empresa caso de estudio. ....</b>	<b>78</b>
<b>4.2. Propuesta de modelado .....</b>	<b>79</b>
<b>4.2.1. Diagrama de flujo funcional del modelo propuesto .....</b>	<b>79</b>
<b>4.2.2. Aplicación de la metodología INGENIAS al modelo propuesto. ....</b>	<b>81</b>
<b>4.3. Evaluación .....</b>	<b>91</b>
<b>4.3.1. Definición de Criterios: .....</b>	<b>91</b>
<b>4.3.2. Comprobación de Características.....</b>	<b>92</b>
<b>4.3.3. Verificación de cumplimiento de Criterios. ....</b>	<b>92</b>
<b>CONCLUSIONES Y APORTES.....</b>	<b>94</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>96</b>

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1.	Funciones y Sub-funciones del ámbito CAP .....	5
Tabla 2.	CAP Interfaces y contenido de datos .....	6
Tabla 3.	Funciones y sub-funciones del ámbito CAP según modelo CIM FIET ....	8
Tabla 4.	Medidas de ajuste transitorio de la capacidad .....	10
Tabla 5.	Funciones y sub-funciones del ámbito Planificación de la Producción .	13
Tabla 6.	Identificación de los contenidos de los datos del diagrama de conexión entre los ámbitos.....	20
Tabla 7.	Holones vs Agentes .....	27
Tabla 8.	Análisis de metodologías para el desarrollo de SMA.....	31
Tabla 9.	Nomenclatura utilizada por INGENIAS .....	35
Tabla 10.	Casos de uso .....	41
Tabla 11.	Casos de usos y Objetivos.....	41
Tabla 12.	Primera instancia del modelo de Organización.....	44
Tabla 13.	Actividades para identificación de interacciones.....	46
Tabla 14.	Actividades para la identificación del modelo de Objetivos y Tareas. ....	48
Tabla 15.	Actividades requeridas para la identificación de flujos de trabajo. ....	52
Tabla 16.	Actividades para identificación de tareas que producen interacciones. ....	58
Tabla 17.	Actividades para identificar las unidades de interacción. ....	60
Tabla 18.	Actividades para identificar el modelo de agente.....	63
Tabla 19.	Actividades necesarias para generar el modelo de entorno. ....	66
Tabla 20.	Confrontación entre áreas funcionales.....	79
Tabla 21.	Características de los SMA en el modelo dinámico de Planificación de la producción. ....	92
Tabla 22.	Proceso de Evaluación .....	93

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Metodología. (Estructura del trabajo).....	2
Figura 2.	Estructura interna de CAP según CIM FIET .....	7
Figura 3.	Operación de un sistema de planificación de proceso asistido por computador tipo Recuperación .....	12
Figura 4.	Diagrama de flujo funcional del ámbito planificación de la producción.....	15
Figura 5.	Diagrama de interconexión entre los diferentes ámbitos funcionales de una empresa .....	19
Figura 6.	Relaciones entre los diferentes meta-modelos y las dos entidades principales, la organización y el agente .....	32
Figura 7.	Secuencia de pasos para el modelamiento con INGENIAS .....	40
Figura 8.	Casos de uso asociados a: Planificación de la Producción.....	42
Figura 9.	Casos de uso asociados a Diseño de la Producción.....	43
Figura 10.	Asociación de actores a casos de uso.....	44
Figura 11.	Representación del Sistemas Multi-Agente para la integración de los ámbitos funcionales de una empresa.....	45
Figura 12.	Interacción para detallar la realización de caso de uso Analizar Capacidad...	46
Figura 13.	Interacción para detallar la realización de caso de uso Determinar Plan Agregado. ....	47
Figura 14.	Estructuración Inicial de Objetivos (I). ....	48
Figura 15.	Estructuración Inicial de Objetivos (II). ....	49
Figura 16.	Tareas Asociadas al objetivo: Asegurar Capacidad. ....	49
Figura 17.	Tareas Asociadas al Objetivo: Determinar Orden Producción. ....	51
Figura 18.	Descomposición de Flujo trabajo Planificación Producción.....	51
Figura 19.	Descomposición de Flujo de Trabajo Diseñar Producción. ....	53
Figura 20.	Tareas que componen flujo de trabajo: Analizar Capacidad. ....	54
Figura 21.	Tareas que componen flujo de trabajo: Elaborar Plan.....	54
Figura 22.	Dependencias entre las tareas de flujo: Analizar Capacidad. ....	55
Figura 23.	Descripción detallada del flujo: Analizar Capacidad .....	56
Figura 24.	Dependencias entre las tareas de flujo: Elaborar Plan.....	57
Figura 25.	Descripción detallada del flujo: Elaborar Plan. ....	57
Figura 26.	Responsables de la ejecución de tareas en el flujo de trabajo: Analizar Capacidad.....	58
Figura 27.	Responsables de la ejecución de tareas en el flujo de trabajo: Elaborar Plan.....	58
Figura 28.	Entidades consumidas y producidas por tareas (I). ....	59
Figura 29.	Entidades consumidas y producidas por tareas (II). ....	60
Figura 30.	Identificación y Ordenación de las unidades de interacción para la interacción: Analizar Capacidad.....	61
Figura 31.	Identificación y Ordenación de las unidades de interacción para la interacción: Elaborar Plan .....	62
Figura 32.	Asociación de roles a objetivos.....	63
Figura 33.	Modelo De Agente para el Agente Diseñador de Producción. ....	64
Figura 34.	Estado inicial para el agente Diseñador .....	65
Figura 35.	Agente ejecutor: Representación de la instancia <i>Análisis necesidades capacidad</i> del agente <i>Diseñador</i> . ....	65



Figura 36. Entidades identificadas en el entorno. ....	67
Figura 37. Modelo de organización Final del SMA de la Empresa .....	67
Figura 38. Comportamiento del agente Diseñador de la Producción dentro de sus flujos de trabajo. ....	69
Figura 39. Modelo agente para el <i>Agente Comunicador</i> .....	72
Figura 40. Responsables de la ejecución de tareas dentro del Agente Comunicador. ....	72
Figura 41. Representación dinámica del ámbito de la <i>Planificación de la producción</i> con SMA. ....	74
Figura 42. Identificación de las unidades de interacción para el flujo de trabajo Planificar mantenimiento .....	75
Figura 43. Diagrama funcional del ámbito planificación de la producción propuesto a la empresa caso de estudio.....	80
Figura 44. Casos de uso asociados a: <i>Planificación de la Producción</i> .....	81
Figura 45. Casos de uso asociados a <i>Diseño de la Producción</i> .....	81
Figura 46. Representación del Sistemas Multi-Agente para la integración de los ámbitos funcionales de la empresa Industria Licorera del Cauca. ....	82
Figura 47. Descomposición de Flujo trabajo Planificación Producción.....	82
Figura 48. Descomposición de Flujo de Trabajo Diseñar Producción. ....	83
Figura 49. Modelo De Agente para el Agente Diseñador de Producción. ....	84
Figura 50. Interacción para detallar la realización de caso de uso Analizar Capacidad...	84
Figura 51. Agente ejecutor en su estado mental intermedio <i>Inicio Análisis Capacidad</i> ....	85
Figura 52. Descripción detallada del flujo: Analizar Capacidad .....	86
Figura 53. Descripción detallada del flujo: Planificar Mantenimiento.....	87
Figura 54. Agente ejecutor en su estado mental intermedio Inicio Diseño plan Agregado .....	88
Figura 55. Descripción detallada del flujo: Elaborar Plan .....	88
Figura 56. Descripción detallada del flujo: Administrar Plan.....	89
Figura 57. Agente ejecutor en su estado mental intermedio Identificación Requerimientos M&E .....	89
Figura 58. Descripción detallada del flujo: Identificar Requerimientos M&E.....	90

## **LISTA DE ANEXOS**

**ANEXO A.** METODOLOGÍAS DE LOS SISTEMAS MULTI-AGENTE.

**ANEXO B.** REPRESENTACIÓN DEL PROCESO DE PLANIFICACIÓN DE LA PRODUCCIÓN CON SISTEMAS MULTI-AGENTE.

**ANEXO C.** PROPUESTA Y EVALUACIÓN DEL PROCESO DE PLANIFICACIÓN EN LA EMPRESA CASO DE ESTUDIO.

## RESUMEN

El presente documento describe el proceso de modelado de la planificación de la producción, como una estructura dinámica con base en el ámbito funcional *Planificación Asistida por Computador (CAP)* del modelo estructural: CIMFIET.

El nuevo modelo busca una mayor adaptabilidad incorporando al sistema capacidades de reconfiguración ante situaciones de incertidumbre, propias de un sistema de producción fabril, permitiendo adicionar y/o eliminar nuevas tecnologías, productos y/o funciones. Para establecer la dinámica de este modelo, se partió de un análisis del mismo, comparándolo con la información suministrada por la empresa caso de estudio: **Industria Licorera del Cauca** y los métodos de planificación de producción.

Durante el modelado se llegó a una primera representación en forma de diagrama de flujo. Con él, se hace un primer aporte al área de investigación en lo referente a automatización industrial. En él, se aprecian: la secuencia de las actividades, la retroalimentación con otros ámbitos y la información que se envía o se requiere de los mismos.

Se realizó seguidamente un estudio de posibles metodologías para el modelado y, dadas las necesidades identificadas en el proyecto, se optó por una metodología multi-agente. Ésta “permite tomar decisiones autónomas, comunicar las preferencias, negociar sub-tareas y coordinar las intenciones con el propósito de obtener éxito, particular por parte del agente y general por parte del sistema” [1]. También plantea la factibilidad de “Las decisiones e interacciones entre agentes, debido a la capacidad de reacción de los sistemas”. (Ellos actúan de forma dinámica ante eventos imprevistos, incorporando preferencias, capacidades, intenciones y adaptaciones a los cambios del entorno) [1].

Teniendo los Sistemas Multi-agente como la mejor opción, se procedió a identificar cuál metodología era la que mejor se adaptaba al problema, dando como resultado la metodología INGENIAS del grupo GRASIA, que presenta una orientación a agentes y un proceso de desarrollo: robusto, detallado y ensayado en proyectos reales; además de presentar soporte con herramienta en todas sus etapas del ciclo de vida, exceptuando la fase de implementación que puede ser realizada en herramientas como la propuesta por Zeus.

A pesar de que INGENIAS es muy detallada en su metodología, presenta dificultad al momento de seguir sus actividades, por lo que su secuencia es replanteada y se propone una nueva, con la que se obtuvo un modelo que soporta las necesidades planteadas en un comienzo y que incluye Meta-modelos de: objetivos & tareas, interacciones, estructura organizacional, entorno del sistema y agente, en el que se evidencia el dinamismo, la comunicación y realimentación del sistema, con los otros ámbitos funcionales de la industria. Al finalizar esta etapa se evidencian dos aportes más al grupo de investigación en automática industrial: el primero, con respecto al replanteamiento de la secuencia de pasos que se siguen en el modelado con INGENIAS y el segundo, con respecto al modelo general obtenido al aplicar dicha secuencia de actividades.

Concluyendo, se procedió a evaluar el modelo resultante, confrontando las diferentes actividades del modelo de base con las de la empresa caso de estudio para el proceso de planificación de la producción, entregando finalmente una propuesta de implementación que contiene las sugerencias para mejorar el proceso existente. Tarea que direccionaba el proyecto, cumpliendo así los objetivos y haciendo un último aporte a la empresa *Industria Licorera del Cauca*.

## INTRODUCCIÓN

Con el avance tecnológico, las empresas del sector productivo han incrementado su eficiencia y capacidad de producción; sin embargo, en ellas aún se mantenía un vacío. Éste llevó a los investigadores a desarrollar nuevas tecnologías, ya no en lo referente a dispositivos y maquinarias de producción, sino en lo relacionado con el manejo inteligente (eficiente) de la información, que interviene a lo largo de todo el proceso productivo.

Actualmente se da inicio a una nueva etapa de desarrollo orientada al manejo de información, donde el Modelo CIM (Manufactura Integrada por Computador) ha sido una base para el desarrollo de ámbitos empresariales, que de manera organizada representan una empresa con flujos de información desde su etapa de gerencia, (pasando por diseño, planificación y producción) hasta el almacenado y despacho de los productos terminados.

Es la planificación de la producción un ámbito de gran importancia en una empresa y tema por tratar en este proyecto de grado. Es aquí donde se predicen y planifican acciones para responder ante situaciones del entorno, que podrían afectar de manera negativa el cumplimiento de los objetivos que se plantean, además de ofrecer una gran ventaja en el manejo de recursos y medios de producción.

La introducción del concepto de producción flexible, en el que se plantean capacidades de reacción, de innovación y adaptación del sistema, ante cambios en la tecnología de producción o del mercado mismo, presenta un nuevo reto que requiere estrategias que mejoren el funcionamiento de la empresa y más precisamente en el área de logística y planificación. Por ello, con este trabajo, se propone un modelo dinámico que pretende mejorar el sistema de planificación de la producción de una empresa, agregando habilidades de reactividad, pro actividad, racionalidad y sociabilidad al aprovechar los avances en tecnologías de la Informática, ofreciendo una ventaja considerable frente a aquellos que no lo tienen.

El dinamismo en la planificación de la producción permite a una empresa intervenir rápidamente ante una perturbación que pueda afectar a largo plazo su correcto funcionamiento. Ofrece seguridad a sus clientes, eficiencia en la producción, reducción de costos de producción y sobre todo calidad en el servicio. Este modelo incrementa la competitividad de la empresa, ofrece características de reacción, habilidad de deliberación y capacidades de cooperación a un sistema hasta hace poco rígido. Permite que la empresa sea realmente significativa y por su crecimiento marque la diferencia en el sector productivo.

Este trabajo compila varios apartados organizados de la siguiente manera: primero se hace una relación de todos los elementos indispensables para el proceso de planificación de la producción, como los presentados en el modelo CIM, así como las técnicas para la elaboración del plan agregado. (Se citan adecuaciones del modelo CIM con las normas ISA95). Se analizan los resultados de trabajos anteriores que tratan los beneficios de usar

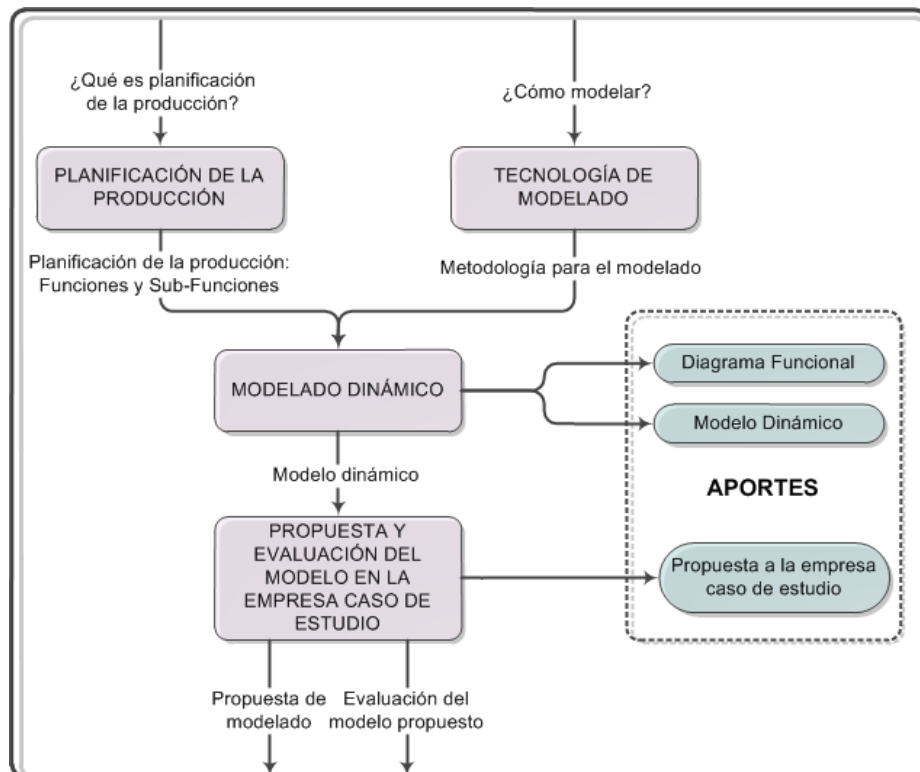
tecnología de modelado para sistemas dinámicos como son: SMA o sistemas holónicos (SH) y se estudian finalmente los SMA listando una serie de metodologías, desde la más antiguas hasta las más recientes, encontrando que la más apropiada es INGENIAS del grupo GRASIA<sup>1</sup>.

En tercera instancia se muestra una primera representación del ámbito en un diagrama de flujo, en el que se visualiza el dinamismo y el manejo de señales entre las actividades propias del modelo y las de comunicación con otros ámbitos funcionales. Una vez realizada la representación del ámbito, se procede al modelado, usando la metodología INGENIAS, detallando las diferentes etapas del proceso y describiendo las actividades por seguir, así como su representación en el software IDK. Teniendo ya el modelo y su representación en el software IDK, se procede a evaluarlo en la empresa caso de estudio y se anexan recomendaciones para su mejoramiento.

Finalmente y para trabajos futuros, se elaboran las respectivas conclusiones con los aportes del proyecto, considerando que la planificación de la producción es una urgencia permanente para la vida de las empresas que deseen ir a la vanguardia.

A continuación, se muestra en un diagrama la secuencia de actividades seguidas a lo largo de este proyecto.

**Figura 1. Metodología.** (Estructura del trabajo)



**Fuente:** Elaboración propia, julio de 2010

<sup>1</sup> GRASIA: GRupo de Agente Software del departamento de sistemas Informáticos y progrAmación, quienes diseñaron la metodología INGENIAS, de la Universidad Complutense de Madrid.

# **Capítulo 1. Planificación de la Producción**

Con el crecimiento de la demanda en el mercado, las empresas del sector productivo han sido obligadas a mejorar su sistema de producción dividiendo la organización en áreas especializadas. Por tal razón, las empresas dedicadas al mejoramiento de los procesos productivos en la industria e instituciones educativas se motivan para generar modelos estructurales que ofrezcan un grado de organización y coherencia en las áreas funcionales, así como eficiencia y calidad en su producción.

En este capítulo se introduce al lector en el conocimiento del ámbito planificación de la producción, así como los diferentes conceptos que involucran los diversos modelos desarrollados en busca de una mayor integración y organización en una empresa. Este es el caso del Modelo CIM (*Computer Integrated Manufacturing*), en el que se especifican las diferentes áreas funcionales de una empresa, identificando sus responsabilidades, actividades y relaciones entre sí, mostrando un claro ejemplo de integración empresarial.

Así, surgen áreas que se encargan de la planificación empresarial, del análisis del mercado, del diseño del producto, planificación de la producción, control de la producción y calidad, entre otros. Pero, es la planificación de la producción, con base en el pronóstico de ventas y una constante comunicación con los demás ámbitos, la que establece una clara diferencia entre una empresa competitiva y sostenible y otra que con el menor cambio en su entorno puede decaer.

Podemos decir que: planificación de la producción consiste en definir el volumen y el momento de fabricación de los productos, estableciendo un equilibrio entre la producción y la capacidad, en busca de la competitividad deseada, así como la planificación de los medios de producción necesarios para cumplir con dicha producción.

### **1.1. Planificación de la producción según CIM**

Según CIM, Planificación asistida por computador (CAP) “es la designación de la información aplicada a la preparación de los planes y procesos de trabajo. Se trata de una planificación basada en los trabajos de diseño convencionales o establecidos mediante diseño asistido por computador (CAD), para obtener datos relativos de las instrucciones de fabricación de piezas y montaje” [3]. Las diferentes funciones y sub-funciones que propone este modelo se muestran en la Tabla 1, y las señales que se intercambian con los diferentes ámbitos en la Tabla 2.



**Tabla 1.** Funciones y Sub-funciones del ámbito CAP

<b>Planificación asistida por computador (CAP)</b>	
<b>Función</b>	<b>Sub-Función</b>
<b>Planificación del trabajo</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Determinación de la secuencia de trabajo</li> <li>• Elección de Procedimientos y maquinas</li> <li>• Asignación de herramientas, dispositivos y elementos de medida.</li> <li>• Establecimiento de los parámetros de proceso</li> <li>• Determinación de requisitos y tiempo</li> <li>• Establecimiento de programas NC, RC, PLC</li> <li>• Planificación de Costes</li> </ul>
<b>Administración de los procesos de trabajo</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Establecimiento de nuevos procesos de trabajo</li> <li>• Nueva planificación</li> <li>• Actualización de los procesos de trabajo existentes</li> <li>• Actualización de los catálogos de fases del trabajo</li> <li>• Administración de recetas</li> </ul>
<b>Planificación del montaje</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conversión de lista de piezas de diseño en una lista de piezas de montaje</li> <li>• Establecimiento de secuencia de montaje</li> <li>• Asignación de puestos de montaje y medios auxiliares</li> <li>• Determinación de requisitos y tiempos</li> </ul>
<b>Planificación de la Verificación</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Establecimiento de los procesos de verificación</li> <li>• Determinación de las necesidades de los medios de verificación</li> <li>• Planificación de la secuencia de verificación</li> </ul>
<b>Establecimiento de recetas</b>	Por definir
<b>Planificación de los medios de producción</b>	
<b>Simulación de procesos de fabricación</b>	
<b>Normalización y control de normas</b>	

Fuente: CIM consideraciones básicas, 1991 [2].

**Tabla 2.** CAP Interfaces y contenido de datos

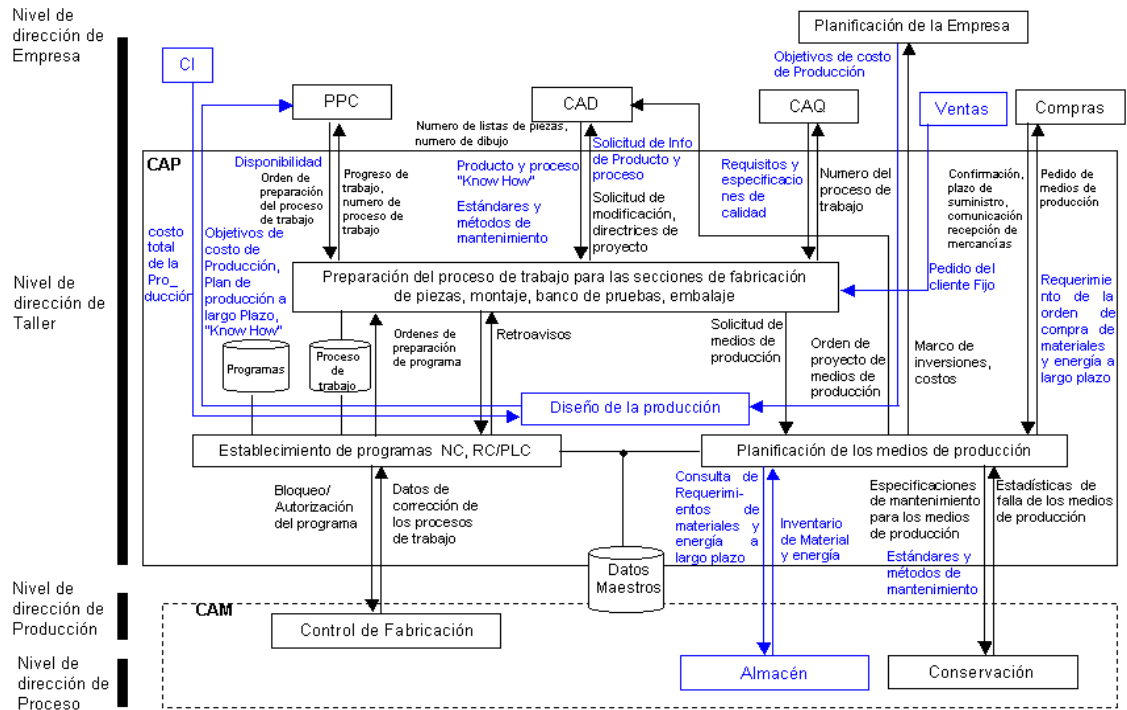
Interfaz			Contenido de datos
CAP	PE	⇒	Marco de inversiones y costos
CAP	Compras	⇒	Pedido de medio de Producción
		⇐	Confirmación, plazo de suministro, comunicación de recepción de mercancías
CAP	PPC	⇒	Capacidad disponible, datos característicos de la capacidad, progreso en la preparación de los procesos de trabajo, número de proceso de trabajo
		⇐	Capacidad necesaria, orden de preparación de los procesos de trabajo, propuesta de tamaño del lote, perfil de cargas
CAP	CAD	⇒	Especificaciones y directrices de diseño, solicitud de modificación, número de procesos y datos NC existentes, órdenes de diseño de medios de producción
		⇐	Número de dibujos y listas de piezas, instrucciones de montaje y mantenimiento
CAP	CAQ	⇒	Número de procesos de trabajo
		⇐	Solicitud y especificación de calidad
CAP	Control de Fabricación	⇒	Autorización/Bloqueo del programa
		⇐	Datos de corrección de los procesos de trabajo
CAP	Conservación	⇒	Especificaciones de mantenimiento para los medios de producción
		⇐	Estadísticas de fallo de los medios de producción
CAP	Datos maestros	↔	Datos maestros de proveedores, datos del pedido del cliente, datos de la orden de trabajo del taller, datos geométricos, datos maestros de la pieza, datos de herramientas, medios de producción y materiales, dibujos, listas de piezas, valores para el cálculo de costos, estructuras del producto, normas, especificaciones de construcción, programas NC, RC, PLC, procesos de trabajo.

**Fuente:** CIM consideraciones básicas, 1991 [2].

## 1.2. Planificación de la producción según CIM FIET

En la Universidad del Cauca se desarrolló un proyecto de grado que tuvo como objetivo generar una aproximación entre el modelo CIM y las normas ISA 88 y 95, en el que se desarrollan nuevas funciones y sub-funciones en los diferentes ámbitos; así como la reorganización de algunas actividades. De esta manera se obtiene una versión mejorada del ámbito Planificación de la producción en el que se incluyen algunas modificaciones de importancia como se puede ver en el siguiente diagrama.

**Figura 2. Estructura interna de CAP según CIMFIET**



**Fuente:** Adecuación del modelo CIM a las normas isa s88 e isa s95 con aplicación ilustrativa a un caso de estudio, 2007[3].

En la Figura 2, las modificaciones pueden verse en azul y en la Tabla 3 se encuentran en negrita las nuevas funciones y sub-funciones que resultaron de esta tesis.

**Tabla 3.** Funciones y sub-funciones del ámbito CAP según modelo CIMFIET

<b>MODELO CIMFIET</b>		
<b>B. FUN.</b>	<b>FUNCIÓN</b>	<b>SUBFUNCIÓN</b>
<b>CAP</b>	<b>Diseño de la Producción</b>	<b>Identificar los requerimientos de materia prima a largo plazo</b> <b>Generar solicitudes para la compra de materiales y energía basado sobre requerimientos a largo plazo.</b> <b>Diseñar el plan de producción a largo plazo</b> <b>Determinación de la orden de producción fija</b>
	Planificación del trabajo	Determinación de la secuencia de trabajo Elección de procedimientos y máquinas Asignación de herramientas, dispositivos, elementos de medida Establecimiento de los parámetros del proceso Determinación de requisitos y tiempo Establecimiento de programas NC, RC, PLC <u>Planificación de costes</u>
	Administración de los Procesos de trabajo	Establecimiento de nuevos procesos de trabajo Nueva planificación Actualización de los procesos de trabajo existentes Administración del catálogo de fases de trabajo. Administración de recetas
	Planificación del montaje	Conversión de la lista de piezas de diseño en una lista de piezas de montaje Establecimiento de la secuencia de montaje Asignación de puestos de montaje y medios auxiliares Determinación de requisitos y tiempos
	Planificación de la verificación	Establecimiento de procesos de verificación Determinación de las necesidades de los medios de verificación Planificación de la secuencia de verificación
	Establecimiento de recetas	
	Planificación de los medios de producción.	Determinar las especificaciones de mantenimiento para los medios de producción hacia conservación
	Simulación de procesos de fabricación y montaje	
	Normalización y control de normas	

**Fuente:** Adecuación del modelo CIM a las normas isa s88 e isa s95 con aplicación ilustrativa a un caso de estudio, 2007[3]

### 1.3. Subsistemas identificados en el ámbito de Planificación de la Producción

En este nuevo modelo se pueden agrupar varias funciones en dos grandes sub-sistemas que son:

- Diseño de la producción
- Gestión de los recursos de los medios de producción

Donde se entiende por diseño de la producción al diseño del plan agregado y a la gestión de los recursos de los medios de producción por planificación del trabajo, planificación del montaje y administración de los medios de producción.

#### 1.3.1. Planificación Agregada

Un plan agregado se puede entender como “la misión que cumplir por el departamento de operaciones para apoyar la consecución del plan de empresa” [4] y se define como “un plan de producción a medio plazo, factible desde el punto de vista de la capacidad, que permita lograr el plan estratégico, de la forma más eficaz posible en relación con los objetivos tácticos del subsistema de operaciones” [4]. Para realizar este plan, es necesario tener presentes varias posibilidades que de acuerdo con la situación pueden o no ser benéficas para la empresa, y son:

- *Actuar sobre la demanda:* esto es, elaborar planes de promoción o disminución de precios de tal manera que ésta se transfiera de un periodo de alta demanda a otro de baja. O bien puede servirse la demanda con retraso [4].
- *Actuar sobre la capacidad:* esto es aumentando o disminuyendo la capacidad.

En la Tabla 4 se ilustra cada una de las posibilidades para modificar la capacidad.

En la práctica se utiliza a menudo estrategias mixtas, las que incluyen la variación de las anteriores variables, porque dan mayor flexibilidad. Sin embargo, hay que tener presente los siguientes factores:

- Las limitaciones del entorno
- Políticas de la empresa
- Los costos:
  - Mano de obra jornada regular
  - Las horas extras
  - Los tiempos ociosos
  - Las posibles contrataciones o despidos
  - La subcontratación
  - El inventario almacenado
  - El retraso del servicio
  - La satisfacción del cliente [4].

**Tabla 4.** Medidas de ajuste transitorio de la capacidad

<b>OPCIÓN</b>	<b>POSIBLES VENTAJAS</b>	<b>POSIBLES INCONVENIENTES</b>	<b>COSTES</b>
<i>Modificar volumen de mano de obra: Contratación y despidos.</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Evita los tiempos ociosos y acumulaciones de inventario y horas extras.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Limitaciones legales y de convenios colectivos.</li> <li>Causan malestar en trabajadores y sindicatos: Aumento de conflictividad.</li> <li>Poco viable si la mano de obra es muy especializada.</li> <li>Puede reducir la productividad.</li> </ul>	<b>CONTRATACIÓN:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Anuncios de ofertas.</li> <li>Pruebas de selección.</li> <li>Trabajo administrativo.</li> <li>Formación y Entrenamiento.</li> <li>Mayor cantidad de desechos iniciales.</li> <li>Caída de productividad.</li> </ul> <b>DESPIDOS:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Indemnizaciones</li> <li>Trabajo Administrativo.</li> <li>Conflictividad.</li> </ul>
<i>Utilización de horas extras.</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Es una opción menos drástica y evita costes de contrataciones y despidos.</li> <li>Evita la acumulación de inventarios y los retrasos en el servicio sin variar la mano de obra.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Limitaciones legales y de convenio.</li> <li>El trabajador no está obligado a aceptarlas.</li> <li>Su uso ha de ser limitado</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mayor coste de las horas extras.</li> <li>Coste derivado de menor productividad.</li> </ul>
<i>Tiempos ociosos</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Si la disminución de capacidad es corta, es más barato que el despido.</li> <li>Evita los efectos negativos de los despidos.</li> <li>Permite conservar a los trabajadores cualificados y eficientes.</li> <li>Evita acumular inventarios innecesarios.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>El trabajador sigue persiguiendo su remuneración.</li> <li>Baja la eficiencia en el uso del equipo fijo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Salarios y cargas sociales.</li> <li>Penalización por el desaprovechamiento de la capacidad.</li> </ul>
<b>OPCIÓN</b>	<b>POSIBLES VENTAJAS</b>	<b>POSIBLES INCONVENIENTES</b>	<b>COSTES</b>
<i>Subcontratación</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>No implica realizar inversiones adicionales.</li> <li>Evita la sobreutilización del equipo fijo.</li> <li>No tiene limitaciones legales o de convenio.</li> <li>Evita el sobrecoste de las contrataciones y horas extras.</li> <li>No motiva posteriores despidos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Riesgo de pérdida de clientes caso de subcontratar el producto final.</li> <li>Falta de disponibilidad de empresas subcontratadas.</li> <li>Pérdida del control de parte del proceso productivo.</li> <li>El coste suele ser superior al de la empresa.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Precio cobrado por la empresa subcontratada.</li> <li>Penalizaciones por riesgo de pérdida de calidad y clientela.</li> </ul>
<i>Programación vacaciones</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Reduce la mano de obra sin coste adicional y sin otros riesgos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Condicionadas por las limitaciones legales y de convenio colectivo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ninguno adicional.</li> </ul>

**Fuente:** Dirección de Operaciones: Aspectos Tácticos y Operativos en la Producción y los Servicios 1995 [4].

De acuerdo con lo anterior existen técnicas para la planificación agregada que pueden clasificarse en tres grupos:

- Intuitivos o de prueba y error. Se hace mediante tablas dada la cantidad de variables a considerar como son:
  - Plan de necesidades de Producción
  - Días productivos
  - Producción regular
  - Producción horas extras
  - Horas M.O regular
  - Mano de obra (M.O)
  - Coste M.O regular
  - Coste de contrataciones y despidos
  - Horas extras (H.E)
  - Coste de H.E
  - Coste de subcontratación
  - Inventario final
  - Coste de posesión y retraso
  - Coste de M.O ociosa.
- Analíticos: que se basan en modelos matemáticos basados en programación matemática o heurística.
- De simulación: que trata el análisis de múltiples soluciones que van mejorando con el tiempo.

En este trabajo, el plan agregado se modelará basándose en la técnica de simulación con base en las tablas de la técnica de prueba y error (Véase control del agente página 68).

### 1.3.2. Gestión de los recursos de los medios de producción

Gestión de los recursos de los medios de producción es una sub-función del sistema de planificación de la producción, que hace referencia a la planificación de los procesos de producción, que según la asociación de mecánicos ingenieros americanos se define como la “determinación sistemática de los métodos y los medios, mediante los cuales un producto se fabrica de forma económica y competitiva”<sup>2</sup> y se define el CÓMO se debe fabricar el producto.

Los sistemas de planificación de proceso están diseñados con base en el enfoque:

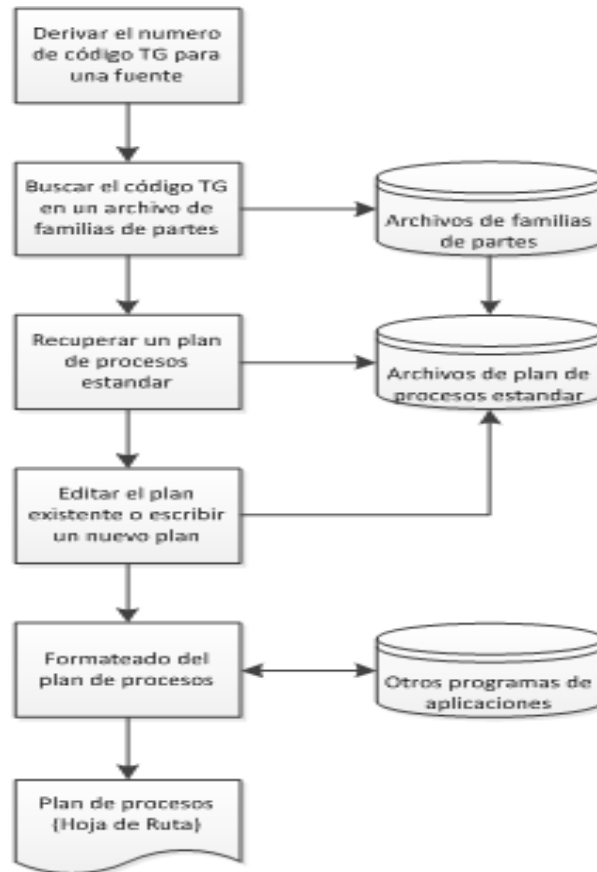
- **Sistemas CAPP de recuperación.** “Los sistemas CAPP de recuperación, también conocidos como sistemas CAPP variables, se basan en la tecnología de grupos y en la clasificación y codificación de partes” [5]. En estos sistemas, se almacena en archivos de computadora un plan de procesos estándar para cada parte o

---

<sup>2</sup>Código ASTM, Edición 1995. USA

producto (los planes estándar se basan en los direccionamientos de partes actuales que se usan en la fábrica o en un plan ideal preparado para cada familia). Los sistemas CAPP de recuperación operan como se indica en la Figura 3.

**Figura 3.** Operación de un sistema de planificación de proceso asistido por computador tipo Recuperación



**Fuente:** Fundamentos de manufactura moderna, 2000 [6]

Finalmente, en la Tabla 5 se reúne las funciones y sub-funciones que se tendrán en cuenta para el modelado de la planificación de la producción. La planificación de la verificación, no se toma en cuenta en esta Tabla, ya que se considera más una sub-función de Control de calidad, que de este ámbito.

#### 1.4. Diagrama de flujo funcional del proceso de planificación de la producción.

A partir de la información recopilada en la Tabla 5, se desarrolla un diagrama de flujo funcional (Ver Figura 4) que involucra diferentes actividades y flujos de información, (descritos a continuación). El criterio escogido para establecer la secuencia de las funciones en el diagrama de flujo funcional del ámbito es propio y se basa en información recogida en (Dominguez Machuca, 1995) y (Groover, 2000), el modelo estructural CIM y la información ofrecida por la empresa caso de estudio. La planificación de la producción



la conforman el diseño de la producción y la gestión de los recursos de los medios de producción.

**Tabla 5.** Funciones y sub-funciones del ámbito Planificación de la Producción

ÁMBITO	FUNCIÓN	SUB-FUNCIÓN
<b>Planificación de la producción.</b>	<i>Diseño de la Producción.</i>	Determinar plan de mantenimiento.
		Determinar Plan agregado.
		Administrar plan agregado.
		Analizar Capacidad.
		Generar plan de inversiones.
		Determinar requerimientos de orden de compra de M&E.
	<i>Gestión de los recursos de los medios de producción.</i>	Planificar trabajo.
		Planificar montaje.

Fuente: Propia Julio de 2010

#### 1.4.1. Diseño de la producción.

El diseño de la producción, visto como una etapa fundamental, exige, a su vez, la ejecución de una serie de actividades para lograr satisfacer sus propósitos que a continuación se explican minuciosamente.

- a. Determinar la capacidad necesaria: su objetivo es identificar la capacidad de producción necesaria para cumplir con el pronóstico de ventas entregado por ventas, así como los pedidos de los clientes fijos. Esta actividad es iniciada dependiendo de las siguientes señales:
  - *Solicitud del plan de producción:* es la información inicial proveniente de Planificación empresarial (PE) y es quien activa el sistema de planificación de la producción.
  - *Plan agregado no viable:* es una forma alternativa de activar esta función y proviene del ámbito de Programación y control de la producción (PPC) y refleja su inconformidad con el plan debido a problemas inesperados en planta, que causan incapacidad de cumplir este plan.
  - *Solicitud de modificación del plan agregado:* al igual que el anterior, es una forma alternativa de activar esta función y ocurre al encontrarse un problema cuando se analizan las secuencias de trabajo y embalaje, producto de un reporte de fallo desde control de fabricación.

- *Reinicio análisis de capacidad:* esta señal se produce cuando la empresa, por falta de capacidad reiterada, destine recursos financieros al equipamiento de la misma, para una mayor producción, lo que requiere un nuevo análisis de la capacidad.

Para su ejecución requiere la siguiente información:

- *Horizonte de planificación:* hace referencia al tiempo para el cual se hará el plan agregado en el que se establecen, además, los periodos de producción para dicho horizonte.
- *Plan de ventas:* este es un plan proveniente del ámbito Ventas, que basándose en análisis del mercado, pedidos de clientes fijos e historial de ventas de la empresa, propone las cantidades por producir por la compañía para satisfacer la demanda durante el horizonte de planificación establecido.
- *Capacidad disponible:* solicita al ámbito PPC la capacidad de producción y características de capacidad, con la que cuenta la empresa en el momento. Necesaria para elaborar el plan agregado y satisfacer el plan de ventas.

Esta información es recibida gracias a una previa consulta iniciada por la función hacia los diferentes ámbitos involucrados.

El análisis de capacidad arroja una respuesta de acuerdo con dos posibles casos: si la capacidad es suficiente o insuficiente, pero no amerita inversión en medios de producción, por ser un estado temporal del mercado, se elabora un informe de capacidad. Pero si la capacidad es insuficiente y ha presentado esta situación en varias ocasiones, de acuerdo con un historial, se da paso a la función análisis de marco de inversiones.

- b. Análisis para marco de inversiones: con base en las características de capacidad y la capacidad faltante, se identifican los medios de producción necesarios para cumplir con el plan de ventas, y se elabora un reporte de marco de inversiones que es enviado a PE para su aprobación. De ser aprobado, se elabora un pedido de medios de producción y se envía a Compras y se reinicia el análisis de capacidad. De no ser aprobado, se pasa a generar el informe de capacidad, para elaborar el plan agregado con la capacidad disponible.
- c. Determinar planificación de mantenimiento para medios de producción: su función es planificar el momento en que se hará el mantenimiento a los medios de producción, dentro del horizonte de planificación y se activa al recibir una de estas señales:
  - *Informe de capacidad:* que indica que ya se hizo el análisis de capacidad y que se puede continuar con el trabajo de diseño.
  - *Plan agregado insatisfactorio:* que resulta de la evaluación del plan agregado de acuerdo con las políticas de la empresa y objetivos del plan.

**Figura 4.** Diagrama de flujo funcional del ámbito planificación de la producción

Para llevar a cabo esta planificación, es necesaria la siguiente información:

- *Plan de ventas*: información que llega junto con el Informe de capacidad, necesario para identificar los periodos de baja demanda y aprovechar el tiempo de menor trabajo de la maquinaria.
- *Estadísticas de fallos de medios de producción*: información enviada desde conservación, que indica el tipo de fallos presentes en los medios de producción, así como el lugar en el tiempo en que ocurren los fallos de las máquinas en el horizonte de planificación.

Como resultado de esta actividad se obtiene el plan de mantenimiento.

- d. Determinar un plan agregado para el horizonte de planificación: esta función se activa al recibir el plan de mantenimiento, para tenerlo en cuenta en la elaboración del plan agregado. Para su elaboración, se tiene, como se dijo en la sección anterior, un diseño híbrido, mediante tablas y simulación reiterada, hasta obtener un plan que cumpla con los requerimientos. Las señales que se requieren para su elaboración son:
- *Costos*: hace referencia a los costos entregados por contabilidad industrial (CI) como se ilustra en la Tabla 4.
  - *Presupuesto de costo de medios de producción*: es un valor de referencia para la optimización del plan agregado, con base en el cual se harán reiterados cálculos de éste, hasta satisfacer dicho presupuesto.

Después de un análisis del plan agregado y si éste es aprobado, se procede a elaborar la hoja de ruta con el plan de mantenimiento. De no ser así, se regresa a planificar nuevamente el mantenimiento. Esto con el fin de verificar si el periodo escogido para llevar a cabo el mantenimiento fue el apropiado o fue el causante del rechazo del plan.

- e. Generar Hoja de ruta del plan de mantenimiento: esta hoja de ruta contiene todas las características para realizar el mantenimiento de los medios de producción, además del momento en que se debe llevar a cabo en el horizonte de planificación, no sin antes consultar los estándares y métodos de mantenimiento al ámbito de Diseño asistido por computador (CAD). Finalmente, esta hoja es enviada a conservación.
- f. Determinar objetivos de costo de producción: con base en el plan agregado calculado anteriormente, se definen los objetivos de costo de producción por periodos y se envían a PE.
- g. Determinar orden de producción fija: corresponde a la orden de producción que contendrá el plan agregado y los objetivos de costos de producción a mediano plazo, que se enviará a PPC.
- h. Identificar requerimientos de materia prima, recursos y energía (RMRE) a mediano plazo: con base en el plan agregado, se establecen los niveles de materia prima, recursos y energía, requeridos para cumplir con dicho plan. Para ello se consulta el inventario a almacén.

- i. Generar requerimientos para la orden de compra de materiales, recursos y energía a mediano plazo: a partir de los RMRE, se elabora este reporte y se envía a compras.

#### 1.4.2. Gestión de los recursos de los medios de producción

- a. Determinación de la secuencia de trabajo y embalaje: función que se encarga de asignar las secuencias de trabajo y embalaje, a cada una de las familias de productos agregados por producir, de acuerdo con el plan agregado, calculado anteriormente.

Esta función que se activa por solicitud del ámbito PPC con la señal, se *encarga de establecimiento del plan agregado* y para su ejecución necesita de la siguiente información o flujos de información:

- *Plan agregado*
- *Datos de corrección de los procesos de trabajo*: que contiene información referente a fallos en los medios de producción y programas NC, RC y PLC, proveniente de control de fabricación, para que modifique la planificación de los recursos y medios de producción o en caso crítico *solicite la modificación del plan agregado*, de manera que no se pierda tiempo mientras se solucionan estos problemas.
- *Capacidad disponible*: es necesaria para identificar qué medios son los afectados y qué disponibilidad hay para intentar solucionar, desde este subsistema, los fallos presentados por control de fabricación.
- *Especificaciones y directrices de diseño*: hace referencia al producto y proceso Know-How, necesario para asignar las secuencias de trabajo correspondientes a los productos y familias de productos por producir.

A partir de esta información, se genera la *Planificación de secuencias de trabajo y embalaje*.

- b. Elección de procedimientos y máquinas: se encarga de asignar en el horizonte de planificación, cada uno de los procedimientos de las secuencias de trabajo de las familias de productos, y con base en la capacidad disponible en el tiempo reserva la maquinaria necesaria para cumplir con el plan agregado.
- c. Elegir herramientas, dispositivos y elementos de medida: función que se encarga precisamente de asignar en el horizonte de planificación, las herramientas, dispositivos y elementos de medida, asociados en la fabricación de productos presentes en el plan agregado, teniendo en cuenta los *requisitos y especificaciones de calidad*, enviadas por CAD.
- d. Elegir Parámetros: se identifican los parámetros que definen una ventaja o desventaja en el proceso de producción, consecuencia de un cambio en el proceso productivo, o simplemente al pasar de la producción de un producto a otro.

- e. Determinación de requisitos y tiempos: se encarga de establecer cuál es el tiempo apropiado para la producción, de acuerdo con un estudio de tiempos.
- f. Establecimiento de programas NC, RC y PLC: de acuerdo con las secuencias, asigna a las familias de productos, procedimientos, máquinas y los programas NC, RC y PLC para su producción. Estos programas se envían a control de fabricación.
- g. Actualizar procesos de trabajo existentes: se actualizan los procesos de trabajos existentes, cuando se ha presentado alguna modificación, o por la inclusión de un nuevo producto en el catálogo de la empresa.
- h. Convertir lista de piezas de diseño en lista de piezas de montaje: para esto se solicita a CAD el *Listado de piezas y el N° de dibujos* para identificar las piezas de ensamble y reservarlas en almacén, para el momento del ensamble final.
- i. Establecimiento de secuencia de montaje: de acuerdo con la familia de productos que ensamblar, se asigna una secuencia de ensamble y para ellos se solicita a CAD las *Instrucciones de montaje*.
- j. Asignación de puestos de montaje y medios auxiliares: con base en el tipo de ensamble y la capacidad de producción, se asignan o se reservan los puestos de montaje y medios auxiliares.
- k. Determinación de requisitos y tiempos: con base en un estudio de tiempos, se establece el tiempo apropiado de ensamble.
- l. Finalmente se asignan las recetas y se elabora la hoja de ruta final con el producto y proceso Know – How, de acuerdo con el plan agregado, junto con la planificación del trabajo y el montaje. Esta hoja es enviada a Calidad y a PPC.

### **1.5. Diagrama de Interconexión entre los diferentes ámbitos funcionales de una empresa.**

Con el propósito de identificar el entorno en el que se encuentra el área funcional *Planificación de la producción* e identificar el recorrido que hace una orden de producción que parte de *Planificación Empresarial* (PE) hacia el nivel de dirección de proceso, se hace un estudio de los diferentes ámbitos de una empresa que intervienen en el proceso productivo, identificando los flujos de información que se transmiten entre ellos.

En la Figura 5, se presenta el diagrama de interconexión entre los diferentes ámbitos funcionales de una empresa, en la que siguiendo la numeración de los flujos de información, se puede observar el recorrido de la orden. En la Tabla 6 se especifica la numeración y el contenido de cada flujo de trabajo.

**Figura 5.**Diagrama de interconexión entre los diferentes ámbitos funcionales de una empresa

**Fuente:** Elaboración Propia, Mayo 2010

Tabla 6. Identificación de los contenidos de los datos del diagrama de conexión entre los ámbitos.

Identificador	PE	VENTAS	CI	COMPRAS	CAD	CAQ	PLANIFICACIÓN PRODUCCIÓN	PPC	CONTROL FABRICACIÓN	FABRICACIÓN PIEZAS	EMBALAJE	ALMACÉN	TRANSPORTE	CONSERVACIÓN	BANCO PRUEBAS	Contenido de los datos
1							→									Solicitud de plan de producción, presupuestos de costos de producción, horizonte de planificación.
2		→														Plan de ventas.
3			→													Costos.
4					→											Estándares y métodos de mantenimiento, producto y proceso Know-How, requisitos y especificaciones de calidad, lista de piezas, número de dibujos e instrucciones de montaje.
5	←															Marco de inversiones.
6							→									Capacidad necesaria, orden de producción fija, Producto y proceso Know-How, Plan de trabajo y plan de montaje.
7						←										Producto y proceso Know-How, Plan de trabajo y plan de montaje.
8															→	Orden de mantenimiento.
9								→								Programas NC, RC, PLC.
10									→						→	Requerimientos de piezas de ensamble.
11		→														Defectos de calidad.
12		→														Objetivos de calidad.
13					→											Número de dibujo, características de calidad, datos del producto, Requerimientos de producto y proceso.
14								→								Informe de calidad.
15															→	Especificaciones para planificación, orden de control.



Tabla 6. Continuación

Identificador	PE	VENTAS	CI	COMPRAS	CAD	CAQ	PLANIFICACIÓN PRODUCCIÓN	PPC	CONTROL FABRICACIÓN	FABRICACIÓN PIEZAS	EMBALAJE	ALMACÉN	TRANSPORTE	CONSERVACIÓN	BANCO PRUEBAS	Contenido de los datos
16								→								Proyectos de inversión, Plan del programa de producción.
17								→								Pedido del Cliente extraordinario, programa de ventas, necesidades del producto, consulta de existencias y plazos de suministro.
18												→				Lista de encargos, activación de inventario, reserva de materiales.
19								←								Movimiento de almacén, Variación de existencias, diferencia de inventario, Inventario de Material y energía, Inventario de producto terminado.
20				←												Necesidades netas (fabricación exterior), Requerimientos para la orden de compra de materiales y energía a corto plazo.
21		←														Plazo de entrega, progreso del pedido del cliente, datos de existencia, comunicación de terminación, precio de fabricación.
22											→					Programa de embalaje.
23								→								Orden de trabajo, reserva de medios de producción, modificación de la orden, anulación, activación de inventario.
24									→							Orden de trabajo, Resultados del aseguramiento de la calidad.
25															→	Orden de trabajo.
26											→					Orden de trabajo.

Tabla 6. Continuación

Identificador	PE	VENTAS	CI	COMPRAS	CAD	CAQ	PLANIFICACIÓN PRODUCCIÓN	PPC	CONTROL FABRICACIÓN PIEZAS	EMBALAJE	ALMACÉN	TRANSPORTE	CONSERVACIÓN	BANCO PRUEBAS	Contenido de los datos
27									→						Orden de almacén, Resultados del aseguramiento de la calidad, Datos de proceso.
28									←						Datos de estado, Progreso de la orden, costos de envío.
29									←						Estado de conservación/Reparación, Pseudos-orden, Estado de conservación/repación, como respuesta de mantenimiento, realimentación técnica del mantenimiento.
30									←						Datos de estado, progreso de la orden, solicitud/devolución de materiales, herramientas, nota de corrección, Solicitud de renuncia en proceso, Balance y pérdidas de producto.
31									←						Datos de estado, progreso de la orden, solicitud/devolución de materiales, herramientas, nota de corrección, Resultados de la calidad.
32									←						Datos de estado, progreso de la orden, solicitud/devolución de materiales, herramientas, nota de corrección.
33									→						Datos de situación, progreso de la orden.
34									→						Orden de transporte.
35									←						Datos de estado, Progreso de la orden, costos de envío.

Tabla 6. Continuación

Identificador	PE	VENTAS	CI	COMPRAS	CAD	CAQ	PLANIFICACIÓN PRODUCCIÓN	PPC	CONTROL FABRICACIÓN FABRICACIÓN PIEZAS	EMBALAJE	ALMACÉN	TRANSPORTE	CONSERVACIÓN	BANCO PRUEBAS	Contenido de los datos
36								←							Datos de producción, progreso de la orden de trabajo, Comunicación de disponibilidad, Cantidad y causa de rechazos, Datos de inventarios.
37						←									Cantidad y causa de rechazo, Datos de proceso.
38			←												Datos de salario, Desempeño de producción y costos, Balance y pérdidas de producto (costos).
39							←								Estadísticas de fallos de medios de producción.
40							←								Inventario M&E.
41							←								Datos de corrección de los procesos de trabajo
42							←								Capacidad disponible, plan agregado no viable, encargo de establecimiento de plan de trabajo.
43	←														Necesidades del personal, Plantilla, Cuellos de botella en el personal.
44			←												Costos.
45								→							Consulta de aprovechamiento del centro de costos, tarifas de compensación.
46					←										Realimentación técnica del proceso y producto.
47													→		Promesa de plazo.
48								←							Pseudos-pedidos
49				←											Requerimientos para la orden de compra de M&E.

Fuente: Elaboración Propia, marzo 2010.

Planear implica detallar con exactitud procesos. Ningún sistema que se utilice para cualificar la producción debe dejar de lado el estudio descriptivo y detallado de cada uno de los ámbitos de una empresa: ventas, contabilidad industrial, compras, etc., así como establecer los elementos de seguimiento y control que sean necesarios para hacer de ella una empresa competitiva y sostenible.

Como pudo verse en este capítulo, los modelos CIM y CIM FIET proporcionan una clara visión de las diferentes áreas funcionales presentes en una empresa, como lo es: la planificación de la producción; y muestran una primera aproximación de lo que se pretende con este proyecto. Además son de excelente ayuda para definir las diferentes actividades y flujos de información que conforma el diagrama de flujo funcional, que será el esqueleto del modelo final y con el que se logrará establecer una secuencia cronológica de las diferentes actividades presentes en la planificación de la producción, además de ayudar en la identificación de la tecnología de modelado que mejor se ajuste a este tipo de proyecto.

## **Capítulo 2. Tecnologías de modelado**

Debido a la creciente Globalización, las empresas de fabricación se han visto enfrentadas a un alto nivel de competencia, donde el jefe ahora es el cliente y es éste quien decide cómo y cuándo quiere un producto. Sin embargo, con los sistemas tradicionales basados en estructuras jerárquicas y centralizadas, es difícil lograr tal grado de flexibilidad, con el agravante de que si en algún momento se presenta un fallo en un punto del sistema, éste lleva a la parálisis de una actividad completa. Esto ha provocado la búsqueda de un sistema de producción diferente que les proporcione un mayor nivel de competitividad, innovación en la producción, incremento en la calidad de los productos, previsión del mercado y eficacia en la entrega de sus pedidos [7].

Por lo expuesto anteriormente, se están implementando tecnologías de modelado que permitan capturar todas aquellas características de dinamismo propias de los sistemas reales. Éstas se basan en teorías de comportamiento social; un ejemplo de estas tecnologías son los SMA y los sistemas holónicos (SH), dado que presentan una forma natural de superar problemas industriales, y de diseñar e implementar estructuras de organización distribuidas. Sin embargo, surge el cuestionamiento de qué tecnología escoger.

En este capítulo, se estudian cada una de las tecnologías antes mencionadas para posteriormente justificar las razones de la elección; además, se describen las metodologías de SMA y se justifica la elección de la metodología INGENIAS para el modelado de la planificación de la producción.

## **2.1. Sistemas holónicos (SH) vs Sistemas multiagente (SMA)**

Antes de mencionar las diferencias entre estos sistemas, se establece las definiciones de cada una de ellas.

- ¿Qué es un holón?

Un holón es un bloque constructivo autónomo y cooperativo de un sistema de información, para: seleccionar, adquirir, procesar, analizar, recuperar y diseminar información, de acuerdo con unos objetivos predeterminados.

Una holarquía es definida como un sistema de holones que pueden cooperar para conseguir un objetivo [7]. La holarquía define las reglas básicas para la cooperación de los holones y por tanto los límites de su autonomía [8].

- ¿Qué es un agente?

Existen varias definiciones de qué es un Agente, y éste se puede definir como “una entidad con capacidad de resolver problemas, y que dentro de sus atributos principales está la posibilidad de almacenar e inferir conocimiento y de comunicarse con otros agentes” [9]. Un agente es capaz de adaptarse a los cambios y conseguir objetivos diferentes, ya que a éstos se les definen metas que son las tareas o responsabilidades, que el agente es capaz de desempeñar, y las cuales se logran cumpliendo los planes establecidos. También, un agente puede tener uno o más roles que definen la especialidad que éstos desempeñan en el área identificada; además, un agente es capaz de comunicarse con otros agentes a través de algún lenguaje.

Un SMA se define como un conjunto de agentes que tienen la capacidad de interactuar en un entorno común y de poseer capacidades como: la comunicación, negociación y coordinación [10].

En la tesis de (Botti Navarro & Giret Boggino) se realiza un estudio comparativo entre los sistemas holónicos (SH) y los SMA. Brevemente se explica cuáles son sus diferencias. Ambos enfoques difieren principalmente en la motivación, es decir, los sistemas holónicos están orientados hacia los estándares de comunicación de bajo nivel y el comportamiento de bajo nivel<sup>3</sup>, mientras que los SMA están motivados en la programación de sistemas inteligentes distribuidos, se centran en el comportamiento social de entidades inteligentes y se ocupan principalmente de la investigación de modelos de comportamiento, estrategias de cooperación, coordinación, optimización del desempeño de tareas, aprendizaje a partir de las propias experiencias y creación de coaliciones, etc. En síntesis, los sistemas multi-agente, son un enfoque software amplio que puede ser utilizado además para el control inteligente distribuido, a diferencia de los SH, que por definición, es un enfoque específico para sistemas de control distribuido de bajo nivel.

A continuación, se presentan las características básicas de los SMA y los SH y posteriormente se hace un análisis para la elección del tipo de tecnología por emplear en el modelado.

**Tabla 7.** Holones vs Agentes

Propiedad	Holón	Agente
Autonomía	Si, aunque limitada	Si
Reactividad	Si	Si
Pro-actividad	Si	Si
Habilidad Social	Sí. La Interfaz Humana es específica de cada holón.	Sí. La Interfaz Humana se implementa generalmente por uno o varios agentes especializados.
Cooperación	Sí. Los holones nunca rechazan de manera deliberada la cooperación con otro holón.	Sí. El agente puede competir y cooperar.
Re-Organización	Sí. Holarquía.	Sí
Racionalidad	Si	Si
Aprendizaje	Si	Si
Benevolencia	Si	Si
Movilidad	Los holones raramente necesitarán de movilidad para la ejecución de sus tareas.	Si

**Fuente:** Aplicaciones Industriales de los sistemas multi-agente, [7]

<sup>3</sup>La palabra "bajo" no implica que el lenguaje sea inferior a un lenguaje de alto nivel; se refiere a la reducida abstracción que existe entre el lenguaje y el hardware. Luego, por comunicación y comportamiento de bajo nivel, se entienden aquellas señales de control en un sistema.

A partir de la Tabla anterior, se puede decir que aunque los holones y los multi-agente tienen las mismas propiedades, los SMA tienen una autonomía ilimitada, pues la autonomía hace al agente, mientras que, aunque el holón tiene autonomía, ésta es limitada debido a que están orientados a problemas de comunicación de bajo nivel. El holón puede o no tener inteligencia y de ser así, esta es limitada, ya que no requiere tanta deliberación mental como se supone lo tiene el SMA, esto es debido a la capacidad de análisis de información y paso de mensajes. Por lo anterior, se decide usar los SMA como medio para modelado dinámico para el sistema por desarrollar, ya que el ámbito de planificación de la producción requiere una comunicación de alto nivel, es decir; pasos de mensajes que necesitan un mayor análisis y una deliberación mental por parte del agente.

En síntesis, para modelar el proceso de planificación de la producción se decide usar los SMA porque:

- Los sistemas distribuidos y autónomos, aunque coordinados, parecen más apropiados que los sistemas centralizados y complejos que no reflejan las particularidades de cada etapa de producción.
- Solucionan los problemas con mayor rapidez, debido al aprovechamiento de procesamiento en paralelo.
- Mayor flexibilidad, pues se tienen agentes con diferentes habilidades, que en forma dinámica cooperan entre sí para resolver problemas.
- Mayor confiabilidad, pues otros agentes pueden tomar las responsabilidades de los agentes que llegasen a fallar en su operación.
- Un sistema de planificación de la producción autónomo y distribuido basado en SMA se caracteriza por mejorar la reactividad ante eventos y está potencialmente capacitado para resolver problemas de dinamismo.
- Un SMA es inherentemente modular y permite una rápida respuesta ante nuevas necesidades del sistema.
- Un SMA es abierto permitiendo la integración dinámica de nuevos agentes, eliminación de los existentes o actualización de los mismos con diferentes funcionalidades [11].

## 2.2. Clasificación de los agentes:

Los agentes pueden ser:

- Agentes Cognitivos: son complejos, ya que tienen la capacidad para evaluar las condiciones del sistema, tienen características de inteligencia artificial, pueden comunicarse con otros agentes y tomar decisiones en conjunto; o, Agentes Reactivos: son más básicos y reaccionan ante un estímulo específico.

También, los agentes pueden clasificarse como:

- Agente estáticos: son agentes que sólo puede ejecutarse en la máquina donde fue iniciado. Si éste necesita interactuar con otros agentes o programas requiere cierta información que no se encuentra en el sistema. La comunicación puede llevarse a cabo mediante cualquier método de interacción para objetos distribuidos.



- Agentes móviles: son agentes que tienen la capacidad de moverse por diferentes nodos de la red una o más veces, son autónomos con la función de ejecutar tareas, se envían como objetos a través de plataformas, conservando su código, datos y estado de ejecución [12].

## 2.3. Características y Propiedades de los SMA.

### 2.3.1. Características de los agentes

- Benevolencia: los agentes cooperan con los demás siempre que les sea posible. No pueden mentir, ni esconder información. Esta característica se evidencia en la figuras: 11, 12, 27 y 28 (Modelo Objetivos y Tareas).
- Coordinación: los agentes valoran el resultado de la actividad del grupo con la misma escala y desean contribuir para maximizar su calidad.
- Diseño central: los agentes se diseñan para que se integren en un sistema inteligente, capaz de resolver un problema. El diseñador debe asegurar que los agentes utilicen el mismo lenguaje y que cada agente, desempeñe un papel que influya en la consecución del objetivo global [13]. Característica que se evidencia en el momento de la implementación.

### 2.3.2. Propiedades de los agentes

- Capacidad para resolver problemas no triviales: un agente inteligente, sabe razonar sobre el entorno y esta capacidad le permite realizar un conjunto de tareas, que se evidencian en la Figura 35 (Modelo de Entorno).
- Racionalidad (ilimitada): los agentes están dotados de un conjunto de objetivos y emprenden acciones para realizarlos. Eligen sus acciones según el principio de racionalidad, es decir, prefieren las acciones más prometedoras para sus metas, no obstante su actuación está limitada por factores de tiempo y recursos; esta propiedad se evidencia en la Figuras: 13 y 14 (Modelo tareas y Objetivos).
- Autonomía (ilimitada): los agentes tiene sus propias motivaciones a partir de las que generan autónomamente sus objetivos; sin embargo para alcanzar gran parte de los mismos dependen de la ayuda de los demás agentes, lo cual pone límites a su autonomía. Esta propiedad se evidencia en la Figura 32 (Véase página 62, Modelo de agente).
- Reactividad y Pro-actividad: los agentes perciben el entorno y responden a los cambios que ocurren en él; además, debido a que generan sus propias metas y pueden actuar convenientemente, son capaces de tomar la iniciativa. Esta propiedad se evidencia en la Figura 35 (Modelo de Entorno) y Figuras: 15, 16 (Modelo de tareas y objetivos).
- Sociabilidad: un agente tiene en cuenta la existencia de otros agentes e interactúa con ellos mediante algún tipo de comunicación y un conjunto de convenios [13]. Esta propiedad se puede apreciar en las Figuras: 11, 12, 29, 30.

### 2.3.3. Características de los SMA

- Organización social de los 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, lo cual se evidencia en la Figura 10 (Modelo Organización).
- 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. Esta característica se evidencia en las Figuras: 11, 12, 29 y 30 (Modelo de Interacción).
- La coordinación en un SMA: la coordinación entre un grupo de agentes les permite considerar todas las tareas que realizar y coordinarlas, para no ejecutar acciones no deseables. Esta característica se evidencia en la Figura 36 (Modelo Organización con flujos de trabajo)
- 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 sub-tareas más importantes que realizar en un momento dado, qué contextos (resultados intermedios de otros agentes) deben ser usados en la solución de una sub-tarea, etc. [14].

### 2.4. Metodologías de los SMA

Para diseñar SMA, se hace necesario que el diseñador emplee una metodología, que es una herramienta para encontrar una solución a una serie de problemas. En ella se indican diversos aspectos relacionados con el proceso de diseño y es adecuada cuando permite aplicar los modelos y los métodos indicados en el problema de diseño [1].

El diseño de un sistema de planificación de la producción de una empresa debe planificar la producción y gestionar los recursos de los medios de producción, además de tener en cuenta variaciones dinámicas que provienen tanto de las actividades internas del ámbito, como de la información procedente de las demás áreas funcionales de la empresa. Para tener en cuenta lo anterior, el sistema de planificación de la producción debe cumplir unos requisitos mínimos que son:

- El diseñador debe tener conocimiento de la teoría de planificación de la producción, pero no necesariamente conocimientos de informática.
- El diseñador debe estar habituado a trabajar y utilizar la tecnología de agentes [1].

La aplicación de una metodología comienza con la determinación del problema que resolver, indicando de forma clara el ámbito donde es aplicable el mismo, y finaliza con la solución del problema.

Existen diversos tipos de metodologías para el diseño de SMA. En la siguiente tabla se muestra una comparación de estas metodologías, teniendo en cuenta parámetros significativos para una selección adecuada de la misma. En el anexo I, se describe con mayor detalle cada una de ellas.

**Tabla 8.** Análisis de metodologías para el desarrollo de SMA

Metodologías	Herramienta de Soporte	Vistas Generadas	Proceso de Desarrollo	Ciclo de Vida de la Aplicación	Soporte para Verificación y Validación	Enfoque de Desarrollo
<b>Vowel Engineering</b>	Ninguna	Agente, Entorno, Interacción y Organización	Es el punto débil, ya que sólo proporciona algunos elementos para su desarrollo	Análisis y Diseño	No	Orientado a Agentes
<b>Mas-CommonKADS</b>	No presenta herramientas de desarrollo específicas	Agente, Tareas, Experiencia, Coordinación, Comunicación, Organización y Diseño	Espiral dirigido por riesgos	Análisis y Diseño	Menciona, pero no explicita pasos	Orientado a Objetos e Ingeniería del Conocimiento
<b>BDI</b>	Ninguna	Agente, Interacción, Creencias, Objetivos y Planes	RUP	Análisis y Diseño	No	Orientado a Agentes
<b>MaSE</b>	AgentTool	Diagramas de Clase de Agentes, de Roles y de Objetivos	Iterativo a través de todas las fases	Análisis y Diseño	Si	Orientado a Objetos
<b>GAIA</b>	UML	Roles, Interacciones, Conocidos, Servicios y Agente	Iterativo dentro de cada fase, pero secuencial entre fases	Análisis y Diseño	No	Orientado a Agentes
<b>MESSAGE</b>	Cualquier herramienta que soporte el uso de	Organización, Tarea/Objetivos, Agente, Dominio e Interacción	RUP	Análisis y Diseño	No	Orientado a Agentes
<b>INGENIAS</b>	IDK o cualquier herramienta que soporte el uso de metamodelos	Organización, Entorno, Tarea/Objetivos, Interacción y Agente	RUP	Análisis, Diseño e implementación	Si	Orientado a Agentes

**Fuente:** Modelado del proceso de programación y control de la programación, 2010 [15].

A partir del análisis comparativo mostrado en la tabla anterior, se escogió INGENIAS del grupo GRASIA dado que:

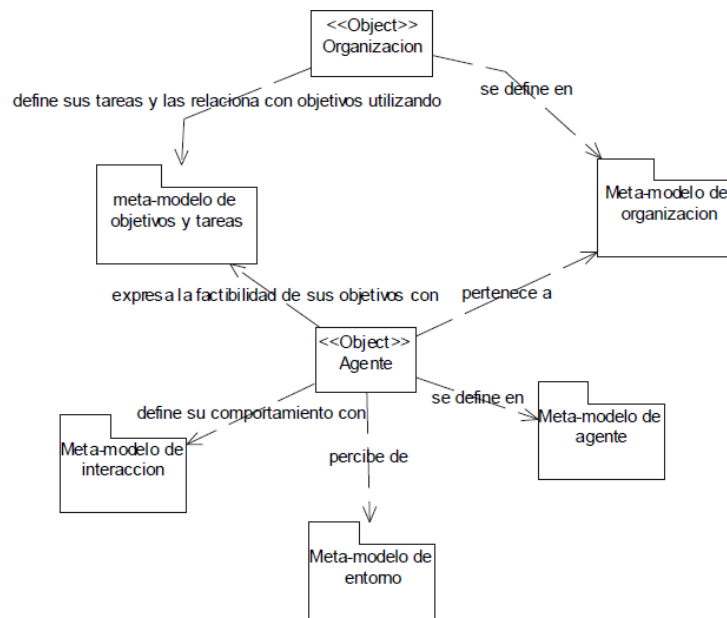
- No requiere conocimientos amplios en informática, es una metodología que profundiza en el proceso de análisis y diseño; y además porque el desarrollo de los meta-modelos está soportado por herramientas, que permiten el procesamiento automático de los modelos generados.
- INGENIAS usa herramientas de meta-modelo para reflejar los resultados del análisis, lo que le permite trabajar directamente con los conceptos que intervienen en el desarrollo de SMA. Además, usando la herramienta se permite asegurar que se están siguiendo los modelos indicados en la metodología de la forma prevista.
- INGENIAS es una extensión de MESSAGE y es una metodología que ofrece mejoras a las ya existentes, sigue una línea de ingeniería de software, orientada a agentes donde concibe tres elementos: herramientas, métodos y procedimientos.
- Esta metodología cuenta con un enriquecido material de apoyo, donde se especifica un conjunto de actividades por seguir, para obtener los meta-modelos y por tanto el SMA, además de ilustrar ejemplos claros de cada uno de los modelos, y ser una metodología empleada en diferentes aplicaciones industriales.

### 2.4.1. INGENIAS

Metodología creada a partir del trabajo realizado en MESSAGE. Esta metodología profundiza en los elementos mostrados en el método de especificación, en el proceso de desarrollo, además de incorporar nuevas herramientas de soporte y ejemplos de desarrollo.

Al igual que MESSAGE, se definen como un conjunto de meta-modelos<sup>4</sup> con los que hay que describir a un sistema. Ellos indican qué hace falta para describir: agentes, organizaciones, entorno, interacciones entre agentes, tareas y Objetivos. La instanciación de estos meta-modelos producen diagramas que definen el SMA.

**Figura 6.** Relaciones entre los diferentes meta-modelos y las dos entidades principales, la organización y el agente



**Fuente:** Modelado de sistemas multi-agente, 2002 [20]

Esta metodología proporciona el mejor soporte para un análisis más detallado de todos los modelos, permitiendo un análisis cada vez más preciso a lo largo de las fases de análisis y diseño, durante todo el proceso de implementación. Aquí, se emplea cinco vistas principales, para describir y definir cinco meta-modelos diferentes.

- **Modelo de Agentes:** describe agentes particulares, excluyendo las interacciones con otros agentes. Se describe la funcionalidad del agente y el diseño de su control, proporcionando información acerca de:
  - Responsabilidades: se trata de las tareas que sabe ejecutar y de los objetivos que se compromete a alcanzar. Se alude al término *rol*, para agrupar la

<sup>4</sup>Un meta-modelo es una representación de los tipos de entidades que puede existir en un modelo, sus relaciones y restricciones de aplicación

funcionalidad y las propiedades que aparecen con frecuencia en el diseño. Se tiene en cuenta el conjunto de estados mentales asociados a un rol que participa en una interacción.

- **Comportamiento:** se maneja el control de agente, donde se establece 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.

Tanto la autonomía como la inteligencia pueden surgir del diseño del propio agente incorporando algoritmos que permitan la toma de decisiones o como resultado de la combinación de algoritmos simples.

- **Modelo de Interacción:** intercambio de conocimiento o peticiones (intencionalidad) entre agentes. Define las interacciones que existen entre agentes/roles.
  - Se definen a alto nivel; en diseño se detalla el protocolo de interacción.
  - Se puede usar el concepto de protocolo de agente UML o los protocolos de GAIA.

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 y se define el contexto de la interacción con los objetivos que persigue la interacción.

- **Modelo de Tareas & Objetivos:** tiene como propósito recoger las motivaciones del SMA, definir las acciones identificadas en los modelos de organización, interacción o de agentes y cómo afectan estas acciones a sus responsables. Aquí se trata de poder expresar cuáles son las consecuencias de ejecutar las tareas y de por qué se deberían llegar a ejecutar.
- **Modelo de Organización:** este modelo es el equivalente a la arquitectura del sistema en un SMA. La estructura de la organización define los elementos principales que componen la organización y cómo se construye ésta a partir de ellos. La organización define una estructura donde van a existir los agentes, recursos, tareas y objetivos; además, 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.
- **Modelo de Entorno:** define la percepción de los agentes en términos de los elementos existentes en el sistema, es decir, define las entidades del entorno del SMA, con las que vaya a interactuar, como son: recursos (elementos consumibles o no consumibles), aplicaciones (uso más complejo, por medio de alguna interfaz) y agentes (satisfacen el principio de racionalidad).

INGENIAS define un conjunto de actividades cuya ejecución termina en un conjunto de modelos. Estas actividades se organizan siguiendo un paradigma de ingeniería del Software, Proceso Racional Unificado (RUP<sup>5</sup>). La ejecución de actividades para producir modelos se basa en la herramienta INGENIAS IDE, una herramienta para modelado visual. Es importante tener en cuenta que esta herramienta almacena la especificación del sistema utilizando XML.

La herramienta INGENIAS Development Kit presenta:

- Editor de modelos que es visual (Con notación GRASIA) donde se generan los modelos, siguiendo los meta-modelos. Se hace una integración con módulos para procesamiento de las especificaciones y está en desarrollo, la integración con agentes.
- Módulos para la generación de código en XML.

Cabe aclarar que el proceso de desarrollo que propone esta metodología es excesivo cuando se trata de desarrollos reducidos. El uso de la herramienta de soporte IDE facilita el proceso de desarrollo, aunque el diseñador debe revisar la documentación en la que se describe la metodología, para entender qué hace cada entidad y cuál es el propósito de cada relación [16].

INGENIAS usa los principios de la arquitectura BDI<sup>6</sup>, como es el principio de racionalidad para definir lo agentes. Los planes (consecución de tareas) se muestran como flujos de trabajo y 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.

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 [1]:

- *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

---

<sup>5</sup> RUP: Rational United Process (Jacobson, Rumbaugh y Booch, 1999), es una solución de ingeniería del Software con el que se puede modelar usando objetos o agentes.

<sup>6</sup> BDI: Arquitectura empleada para el modelado de agentes usando un conjunto de creencias, deseos e intenciones.






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 alcanzan, 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 una descripción textual.
- El procesador de estado mental: es el encargado de tomar las decisiones a partir del estado mental. Este aspecto se describe de forma textual.
- 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.


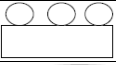

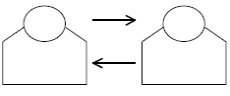
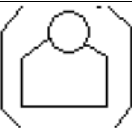
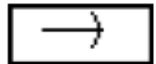

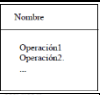
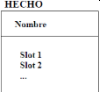
Los diagramas relacionados para cada modelo se presentan en el desarrollo del SMA (en el capítulo 3) y se utiliza la notación de la herramienta IDK. Por lo tanto, en la Tabla 9 se muestra la notación, donde se especifica el símbolo y el nombre de las entidades usadas para la obtención del SMA. Vale aclarar que esta herramienta es de representación del modelo, más no es una herramienta de validación; ya que para serlo, se debe implementar una extensión en JADE que permita activarla.

El autor (Gómez Sanz) en su tesis de doctorado define un proceso de desarrollo de la metodología INGENIAS, compuesto de un conjunto de actividades. En esta se describe el proceso y se da un ejemplo de cómo se hace el modelado.

**Tabla 9.** Nomenclatura utilizada por INGENIAS

SÍMBOLO	NOMBRE
	<b>Objetivo:</b> se etiqueta con el nombre del objetivo
	<b>Rol:</b> se etiqueta con el nombre del rol.
	<b>Procesador de estado mental:</b> se etiqueta con el nombre del procesador
	<b>Gestor de estado mental:</b> se etiqueta con el nombre del gestor.
	<b>Agente:</b> se etiqueta con el nombre del agente.

**Tabla 9.** Continuación

	<b>Grupo:</b> se etiqueta con el nombre grupo.
	<b>Organización:</b> se etiqueta con el nombre de la organización.
	<b>Flujo de trabajo:</b> se etiqueta con el nombre del flujo de trabajo.
	<b>Interacción:</b> se etiqueta con el nombre de la interacción y su naturaleza como planificación, coordinación o negociación.
	<b>Consulta de entidades autónomas:</b> se etiqueta con nombres concretos de agentes o expresiones que denotan agentes existentes.
	<b>Unidad de Interacción:</b> 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> .
	<b>Tarea:</b> se etiqueta con el nombre de la tarea.
	<b>Aplicación:</b> se etiqueta con el nombre la aplicación y las operaciones soportadas.
	<b>Hecho:</b> se etiqueta con el nombre del hecho y el nombre de los slots identificados.

**Fuente:** Modelado de sistemas multiagente, 2002 [20].

En este capítulo se consigue definir el tipo de tecnología que emplear para el modelado del proceso de planificación de la producción, así como la metodología que seguir para obtener el modelo dinámico de este ámbito.

Como pudo verse en líneas anteriores, tanto los holones y los SMA son tecnologías de modelado que ofrecen características que se ajustan al problema planteado y permiten dotarlo de cualidades necesarias para hacer de la planificación de la producción un ámbito decisivo en el progreso de una empresa.

Al tomar decisiones para el modelado del proceso de planificación de la producción, se exige tener en cuenta meta-modelos en los diferentes aspectos. Los agentes como sistemas completos y autónomos permiten solucionar los problemas con mayor rapidez, permiten la transmisión de mensajes complejos, son flexibles y en forma dinámica cooperan entre sí para resolver problemas. Ofrecen confiabilidad, toman las responsabilidades de los agentes que fallan en su operación. En sí, un sistema de planificación de la producción basado en SMA se caracteriza por mejorar la capacidad de reacción ante problemas de dinamismo.



# **Capítulo 3. MODELADO DEL SISTEMA DE PLANIFICACIÓN DE LA PRODUCCIÓN**

Este capítulo tiene por objeto desarrollar el modelo dinámico del ámbito planificación de la producción a través de SMA. Para ello se describe el sistema por desarrollar y el proceso que se sigue durante el modelado. A continuación, se muestra en un diagrama de flujo las actividades que propone el RUP de INGENIAS donde se observa qué actividades se pueden ejecutar y en qué momento se debe hacer. Posteriormente se presenta el desarrollo de estas actividades y sus resultados. Por la extensión de los resultados del SMA solo se presentan parte de estos y la otra parte será mostrada en el Anexo II.

### **3.1. El sistema por desarrollar**

El sistema por desarrollar es un asistente del ámbito planificación de la producción. Se concibe de esta manera dado que “estos sistemas son grandes complejos, que son diseñados para desempeñar una tarea claramente definida en un ambiente estandarizado y bien estructurado” [7]; esto hace que “los sistemas de control de fabricación requieran agentes semiautónomos” [7]. Es decir, agentes que requieren de menos deliberación mental y social que los SMA aplicados normalmente. Además, estos agentes deben razonar sobre el comportamiento del sistema industrial, pero no sobre sus actitudes mentales.

El ámbito planificación de la producción se plantea como un grupo de un SMA que representa una empresa. A su vez, este grupo lo componen agentes que se reparten las funcionalidades de este ámbito, lo cual se realiza con el propósito de representar de una mejor manera las actividades principales del sistema, además de permitir un funcionamiento en paralelo de las mismas, ya que con esta representación es más sencillo planificar la producción de la empresa.

El diagrama de flujo funcional (Ver Figura 4), mostrado en el capítulo 1, sirve como base para el modelado del ámbito planificación de la producción, debido a que este muestra una primera aproximación de lo que se pretende modelar con SMA aplicando la metodología INGENIAS.

### **3.2. Descripción del proceso de modelado.**

Los agentes son una potente herramienta de abstracción para el diseño y construcción de sistemas complejos, debido a que ofrecen una vía adecuada para considerar sistemas con múltiples componentes. En esta sección se presenta una experiencia de modelado usando la metodología INGENIAS, para desarrollar una solución orientada a agentes para el problema de planificación de la producción. Se debe aclarar que en la tesis de (Gómez Sanz) se especifican todas las actividades por seguir para obtener un SMA con esta metodología, aunque en este trabajo no se desarrollan en el orden propuesto puesto que esta metodología es muy flexible y permite modificar el orden de las actividades dependiendo del sistema por modelar.

A continuación, se presentan los cinco meta-modelos que enuncia la metodología INGENIAS para las fases de análisis y diseño.

- Meta-modelo de Organización: define como se agrupan los agentes, cuáles son las funcionalidades del sistema y que restricciones se presentan en el comportamiento de los agentes.
- Meta-modelo de agente: describe los agentes concretos que se deben usar y sus estados mentales.
- Meta-modelo de interacción: describe cómo los agentes interactúan y se coordinan entre ellos.
- Meta-modelo de entorno: define el tipo de recursos y aplicaciones que utilizar.
- Meta-modelo de tareas y objetivos: relaciona los estados mentales de los agentes con cada tarea.

### **3.2.1. Diagrama de flujo de las actividades de la metodología INGENIAS.**

La metodología INGENIAS, al tener un nivel de detalle tan alto, presenta una desventaja al momento de adecuarla al problema. Para hacer más claro su seguimiento se desarrolla un diagrama de flujo (Ver Figura 7) que muestra una secuencia en el tiempo de las actividades propuestas y se diferencia por colores de acuerdo con el meta-modelo al que hace referencia. Además, se aprecian que actividades son requisito de otras para su ejecución.

En la Figura 7 se puede observar cómo del diagrama de flujo funcional de la planificación de la producción se desprenden los casos de uso que encapsulan la funcionalidad del sistema y se identifican los flujos de trabajo que describen esta funcionalidad. Además, se puede apreciar que a partir de los casos de uso se establecen los objetivos del sistema, los responsables de su satisfacción y las interacciones necesarias para cumplirlos y a partir de éstos se desencadenan las demás actividades del meta-modelo. En este diagrama se muestra actividades independientes que pueden ejecutarse en paralelo evidenciando la flexibilidad de la metodología y permitiendo al diseñador escoger una forma para modelar de acuerdo con su criterio.

**Figura 7.**Secuencia de pasos para el modelamiento con INGENIAS

**Fuente:** Elaboración propia, julio 2010

### 3.2.2. Resultados Obtenidos.

En esta sección, se detallan las actividades seguidas durante el proceso de modelado. Sin embargo, la forma como se presentan es diferente a la mostrada en el diagrama anterior, con el fin de que sea de mayor claridad para el lector. Durante su desarrollo, se presentan tablas que incluyen: la actividad, las figuras y tablas que evidencian el resultado y la fase en la que se encuentra de acuerdo con el diagrama anterior (Figura 7).

- **Casos de uso**

Para comenzar con el modelado con INGENIAS, se propone partir del *Diagrama de flujo funcional* (Ver figura 4) y a partir de éste *determinar los casos de uso* que son indispensables para realizar el proceso de planificación de la producción. Un diagrama de caso de uso proporciona un modelo conjunto de los comportamientos de un sistema que resuelve un objetivo del usuario. Así, esta descripción representa un requisito funcional, mostrando lo que sucede, pero no cómo es alcanzado por el sistema. Según lo anterior, el estudio de este proyecto se centra en la planificación de la producción; en este caso, cada función de este ámbito, representa un caso de uso (Ver Figura 8).

**Tabla 10.** Casos de uso

ACTIVIDAD	RESULTADO	REFERENCIA	UBICACIÓN EN EL DIAGRAMA
Identificar casos de uso	Casos de uso	Figura 8 Tabla 11	
Refinar Casos de uso	Casos de uso refinados.	Figura 9 Tabla 11	
Identificar actores o roles, y asociarlos a los casos de uso.	Roles asociados a casos de uso.	Figura 10	
Identificar objetivos y asociarlos a los casos de uso.	Objetivos asociados a casos de uso.	Tabla 11	

**Fuente:** Elaboración propia, julio 2010.

**Tabla 11.** Casos de usos y Objetivos.

SUB-FUNCIÓN.	CASO DE USO GENERAL.	CASO DE USO ESPECÍFICO.
Determinar plan de mantenimiento.	Diseñar producción <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Objetivo:</b> Diseñar la producción</li> </ul>	Determinar Plan de mantenimiento. <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Objetivo:</b> Establecer plan de mantenimiento.</li> </ul>
Determinar Plan agregado.	Determinar orden de producción fija. <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Objetivos:</b> Determinar Orden de producción.</li> </ul>	Determinar Plan agregado. <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Objetivo:</b> Determinar plan agregado.</li> </ul>

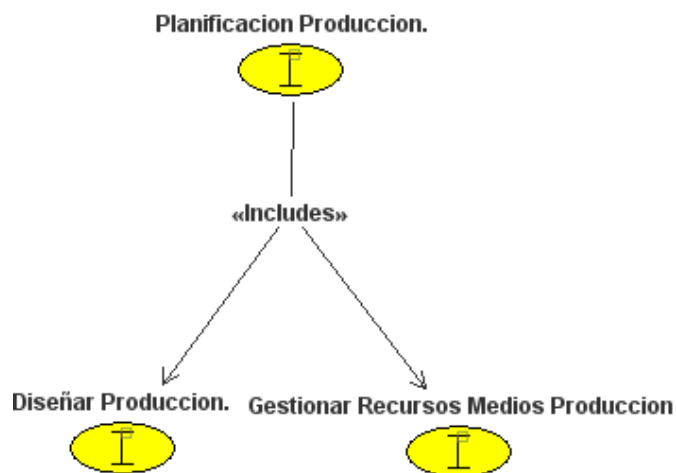
**Tabla 11.** Continuación.

Administrar plan agregado.	Determinar orden de producción fija. • <b>Objetivo:</b> Determinar Orden de producción.	Administrar plan agregado. • <b>Objetivo:</b> Administrar plan agregado.
Analizar Capacidad.	Asegurar Capacidad. • <b>Objetivo:</b> Asegurar Capacidad.	Analizar Capacidad. • <b>Objetivo:</b> Establecer Capacidad.
Generar plan de inversiones.	Asegurar Capacidad. • <b>Objetivo:</b> Asegurar Capacidad.	Generar plan de inversiones. • <b>Objetivo:</b> Gestionar Inversiones.
Determinar requerimientos de orden de compra de M&E.	Diseñar producción. • <b>Objetivo:</b> Diseñar la producción	Determinar requerimientos de orden de compra de M&E. • <b>Objetivos:</b> Generar requerimientos M&E.
Planificar trabajo.	Gestionar recursos de medios de producción. • <b>Objetivo:</b> Planificar trabajo.	Planificar trabajo. • <b>Objetivo:</b> Planificar trabajo.
Planificar montaje.	Gestionar recursos de medios de producción. • <b>Objetivo:</b> Gestionar recursos de medios de producción	Planificar montaje. • <b>Objetivo:</b> Planificar montaje.

**Fuente:** Elaboración propia, julio 2010

La determinación de los objetivos depende de la funcionalidad que represente cada caso de uso. En la tabla anterior, se presenta las sub-funciones del proceso de planificación de la producción, los casos de uso identificados con base en ella y los objetivos que cada uno persigue.

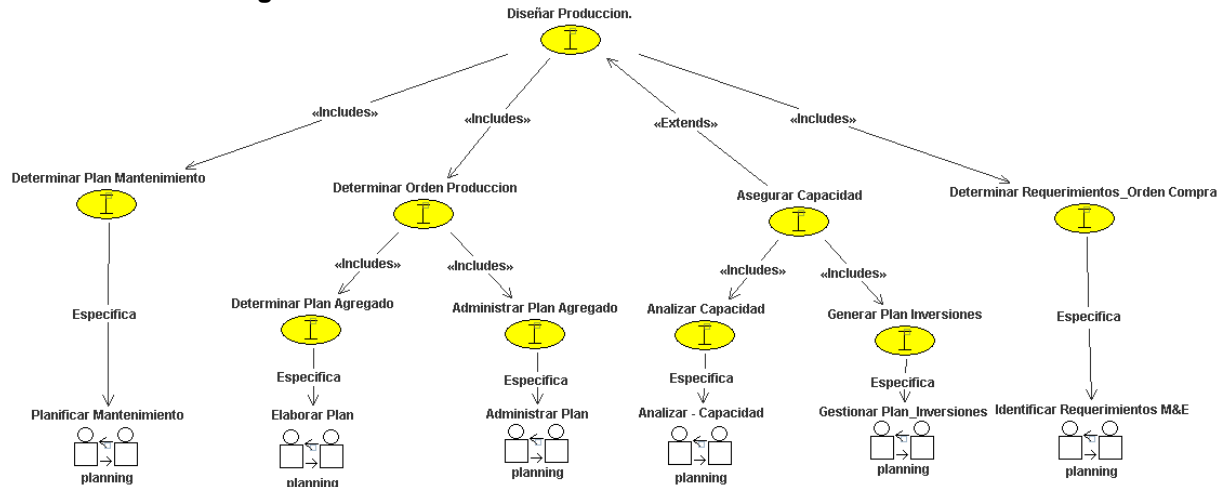
**Figura 8.** Casos de uso asociados a: Planificación de la Producción.



**Fuente:** Elaboración propia, mayo 2010.

El caso de uso: *Diseñar la Producción*, se encarga de crear y administrar el plan agregado de producción, y el caso de uso: *Gestionar Recursos de Medios de Producción*; como su nombre lo indica, gestiona los recursos de medios de producción, el caso de uso: *Gestionar recursos de medios de producción* se refina y se ilustra en el anexo II.

**Figura 9.** Casos de uso asociados a Diseño de la Producción



**Fuente:** Elaboración propia, mayo 2010.

En la Figura 9, se muestra el caso de uso *Diseñar Producción*, que se refinan en cuatro casos de usos:

- Caso de uso, *Determinar Plan de Mantenimiento*: se establece el plan de mantenimiento de los medios de producción a lo largo del horizonte de planificación.
- Caso de uso, *Determinar Orden de Producción*: se determina la orden de producción fija para un periodo de tiempo establecido, que se enviará a PPC (Programación y Control de la Producción); a su vez, este caso de uso se divide en casos de uso más detallados:
  - Caso de uso, *Determinar Plan Agregado*: se diseña el plan agregado de producción de la empresa.
  - Caso de uso: *Administrar Plan Agregado*: se evalúa y se administra el plan agregado.
- Caso de uso *Asegurar Capacidad*: se determina la capacidad necesaria para el periodo de producción a mediano plazo. Este caso de uso se divide en:
  - Caso de uso, *Analizar Capacidad*: después de analizar el plan de ventas y la capacidad disponible de la empresa, se analiza y se determina la capacidad que es necesaria para el horizonte de planificación.
  - Caso de uso, *Gestionar Plan de Inversiones*: calculada la capacidad con que cuenta la empresa, se gestiona un plan de inversión necesario para cumplir con los objetivos de producción.

- Caso de uso, *Determinar Requerimientos Orden de Compra*: se gestiona y se determina los requerimientos para la orden de compra de materiales, insumos y energía a mediano plazo.

Ya refinados los casos de uso, se *Identifican los 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. En la Figura 10, se muestra la asociación de actores a los caso de uso ya identificados.

**Figura 10.** Asociación de actores a casos de uso



**Fuente:** Elaboración propia, mayo 2010.

## • Modelo de Organización

El modelo de la organización está definido por las metas y las tareas de la organización; los flujos de trabajo que determinan asociaciones entre tareas y la información de carácter general sobre su ejecución; grupos, que pueden contener agentes, papeles, recursos o aplicaciones.

**Tabla 12.** Primera instancia del modelo de Organización

ACTIVIDAD	RESULTADO	FIGURA	UBICACIÓN EN EL DIAGRAMA
Identificar objetivos de la organización.	Objetivos asociados a la organización.	Figura 11	
Identificar grupos.	Grupos que componen la organización.		
Generar miembros.	Roles asociados a casos de uso.		

**Fuente:** Elaboración propia, julio 2010.

La organización *empresa* persigue el objetivo de *integrar funciones técnicas y organizativas para la fabricación de un producto*. Dentro de la organización se definen cuatro grupos, de acuerdo con la división establecida por CIM:

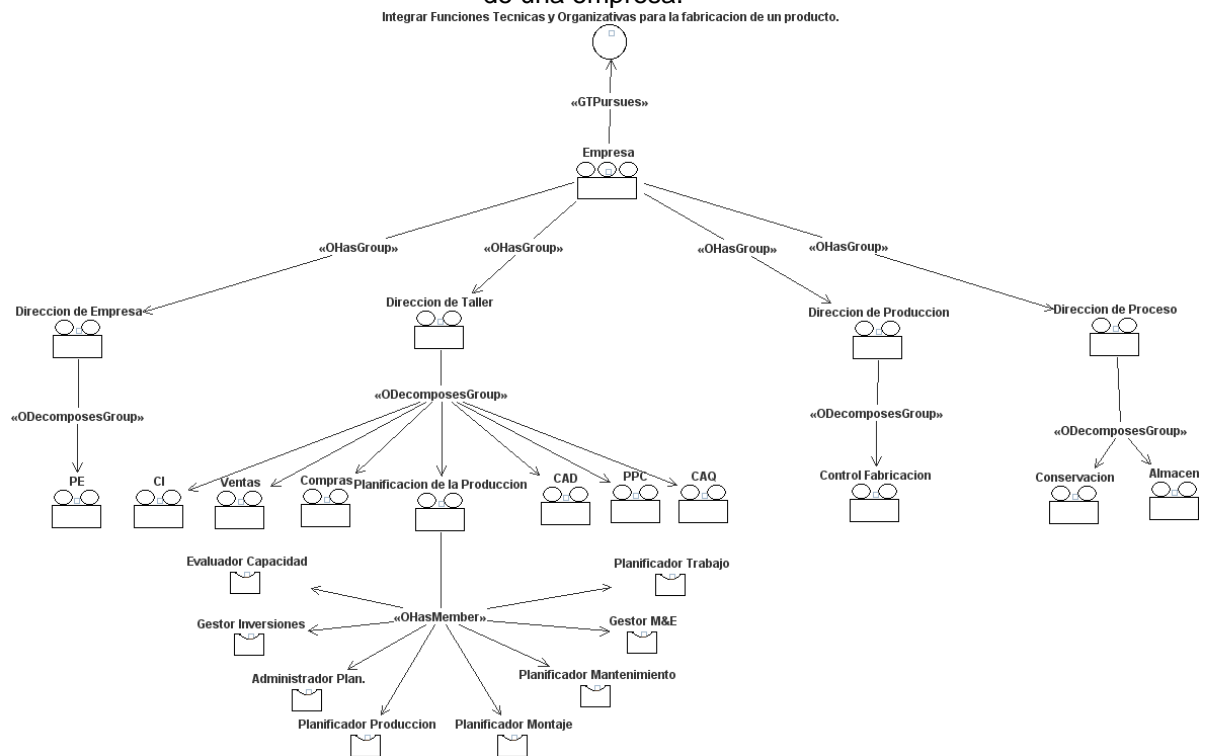
- *Dirección de Empresa*: Contiene el grupo Planificación Empresarial (PE).
- *Dirección de Producción*: Contiene el grupo Control de Fabricación.



- *Dirección de Proceso:* Contiene dos grupos:
  - Conservación
  - Almacén
- *Dirección de Taller:* Contiene siete grupos:
  - *Contabilidad Industrial (CI).*
  - *Ventas.*
  - *Compras.*
  - *Planificación de la Producción.*
  - *Diseño asistido por Computador (CAD).*
  - *PPC*
  - *Calidad asistida por computador.(CAQ)*

Para la organización se define el objetivo de CIM, ya que ésta es la organización del SMA. Cada grupo tiene un objetivo de acuerdo con el nivel jerárquico de tratamiento de datos en el que están incluidos los ámbitos funcionales y por ende cada agente tiene un objetivo, de acuerdo con las funciones y sub-funciones que éste ejecuta.

**Figura 11.** Representación del Sistema Multi-Agente para la integración de los ámbitos funcionales de una empresa.



**Fuente:** Elaboración propia, mayo 2010.

- **Modelo de Interacciones.**

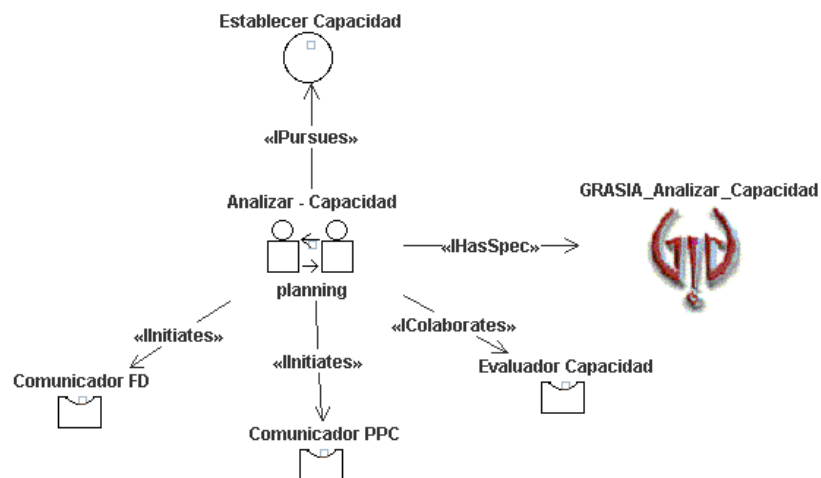
A continuación se *Identifican las interacciones* con el diagrama de flujo funcional. Se determina si las sub-funciones contenidas dentro de cada uno de los casos de usos refinados reciben o envían información hacia otro ámbito o hacia otra función que sea ejecutada por otro agente y de esta manera definir la(s) interacción(es). Hecho esto, se identifican para cada uno los objetivos de la interacción, sus miembros (Iniciador y Colaboradores) y la naturaleza de la misma. La naturaleza puede ser negociación, planificación o competición. Se escoge la naturaleza *Planificación*, dado que “se necesita generar una secuencia de tareas para alcanzar un objetivo” [16]. En el anexo II se ilustran las otras interacciones.

**Tabla 13.** Actividades para identificación de interacciones

ACTIVIDAD	RESULTADO	FIGURA	UBICACIÓN EN EL DIAGRAMA
Identificar interacciones a partir de los casos de uso refinados.	Interacciones del sistema.	Figura 12 Figura 13	
Asociar objetivos a interacciones.	Un conjunto de objetivos.		
Identificar su naturaleza.	Categoría correspondiente a la interacción.		
Identificar los participantes.	Un conjunto de participantes.		

**Fuente:** Elaboración propia, julio 2010.

**Figura 12.** Interacción para detallar la realización de caso de uso Analizar Capacidad.



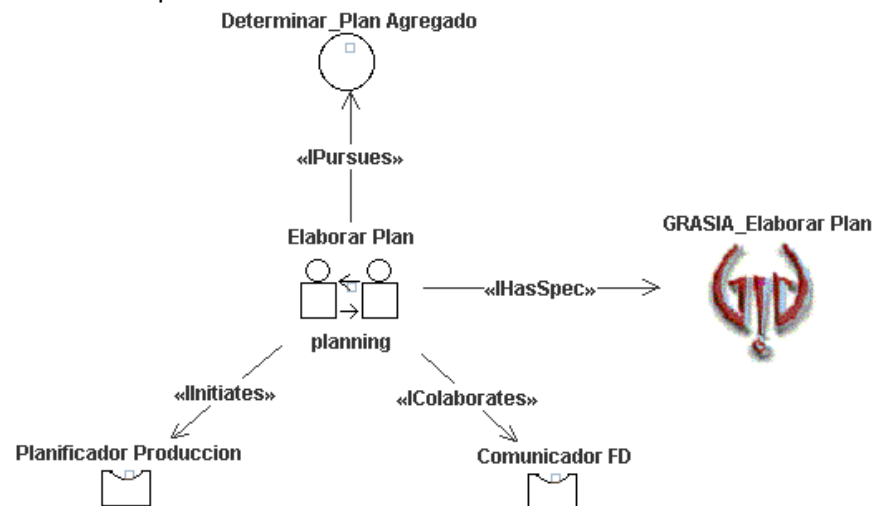
**Fuente:** Elaboración propia, mayo 2010.

En la Figura 12 se muestra la interacción: *Analizar Capacidad*, la cual se inicia para *establecer la capacidad de producción*. La interacción es iniciada por el *comunicador PPC* cuando el plan agregado no es viable o por el *comunicador FD* cuando llega una solicitud de modificación de dicho plan, proveniente del agente gestor, o cuando llega la solicitud de plan de producción desde PE.

Cabe aclarar que el rol *Comunicador FD* es el encargado de comunicar en la fase de diseño al agente diseñador de la producción y/o gestor de los recursos de medios de producción con los siguientes ámbitos: Compras, Ventas, Planificación Empresarial, Contabilidad Industrial, Almacén, Conservación; y el rol *comunicador PPC* comunicar con el ámbito Programación y control de la Producción.

En la Figura 13 se presenta la interacción *Elaborar Plan*, cuyo objetivo es *determinar un plan agregado*; para ello es inicializada por el *planificador de la producción* cuando recibe el informe de capacidad de producción y cuenta con la colaboración del *comunicador FD* para solicitar y recibir los costos provenientes de CI, y el presupuestos de costos de producción procedente de PE y con esto poder elaborar el plan agregado de producción.

**Figura 13.** Interacción para detallar la realización de caso de uso Determinar Plan Agregado.



**Fuente:** Elaboración propia, mayo 2010.

- **Modelo de Objetivos y Tareas.**

A continuación, se presentan los objetivos asociados a la función *Diseño de la Producción* y se ilustran en el anexo II los correspondientes a *Gestión de los recursos de los medios de producción*. Además, se identifican las tareas asociadas a cada objetivo.

El objetivo general del SMA es *Integrar funciones técnicas y organizativas para la fabricación de un producto*. Para su satisfacción, éste se descompone en sub-objetivos de acuerdo con el ámbito en cuestión, es decir, que para el ámbito planificación de la producción, la planificación es el objetivo por alcanzar, y éste se descompone en: *diseñar*

un plan de producción y gestionar recursos de medios de producción, como se muestra en la Figura 14.

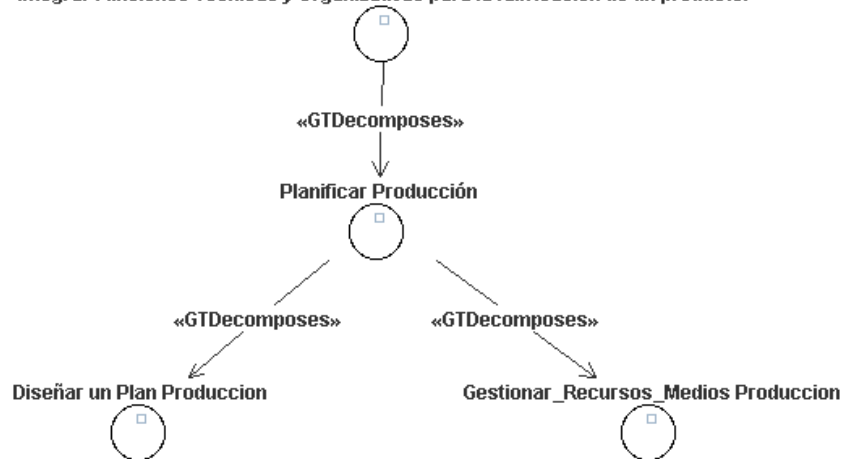
**Tabla 14.** Actividades para la identificación del modelo de Objetivos y Tareas.

ACTIVIDAD	RESULTADO	FIGURA	UBICACIÓN EN EL DIAGRAMA
Descomponer objetivos	Asociaciones de descomposiciones entre objetivos.	Figura 14 Figura 15	
Identificar tareas.	Un conjunto de tareas.	Figura 16 Figura 17	
Asociar tareas a objetivos.	Asociaciones entre objetivos y tareas.		

**Fuente:** Elaboración propia, julio 2010.

**Figura 14.** Estructuración Inicial de Objetivos (I).

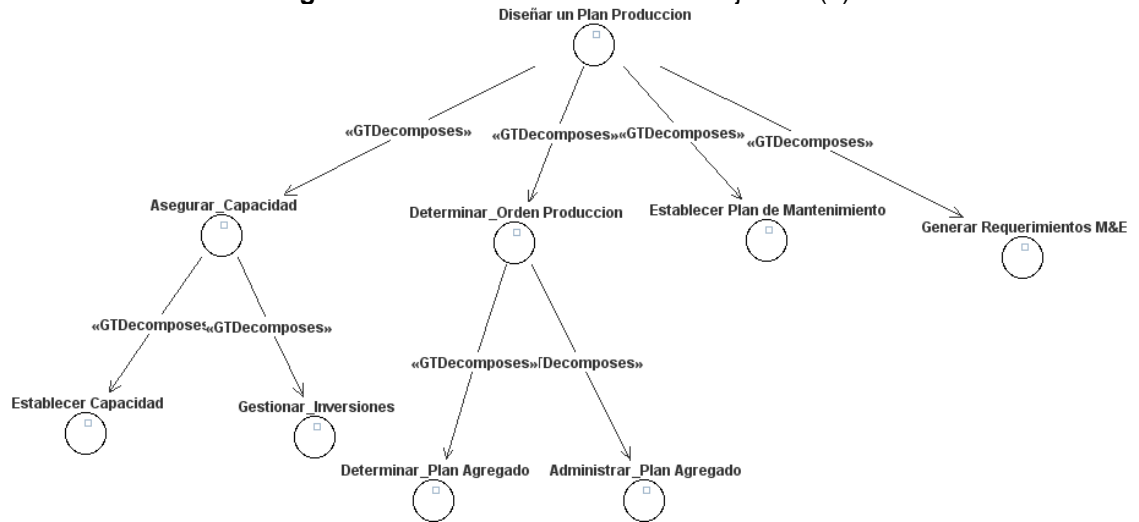
Integrar Funciones Técnicas y Organizativas para la fabricación de un producto.



**Fuente:** Elaboración propia, mayo 2010.

En la Figura 15, el objetivo *diseñar un plan de producción* se descompone en *Asegurar capacidad*, *determinar orden producción*, *establecer plan de mantenimiento* y *generar requerimientos de M&E*. Además, el objetivo *asegurar capacidad* se descompone en dos objetivos: *establecer capacidad* y *gestionar inversiones*, y el objetivo *determinar orden de producción* se descompone en: *determinar plan agregado* y *administrar plan agregado*.

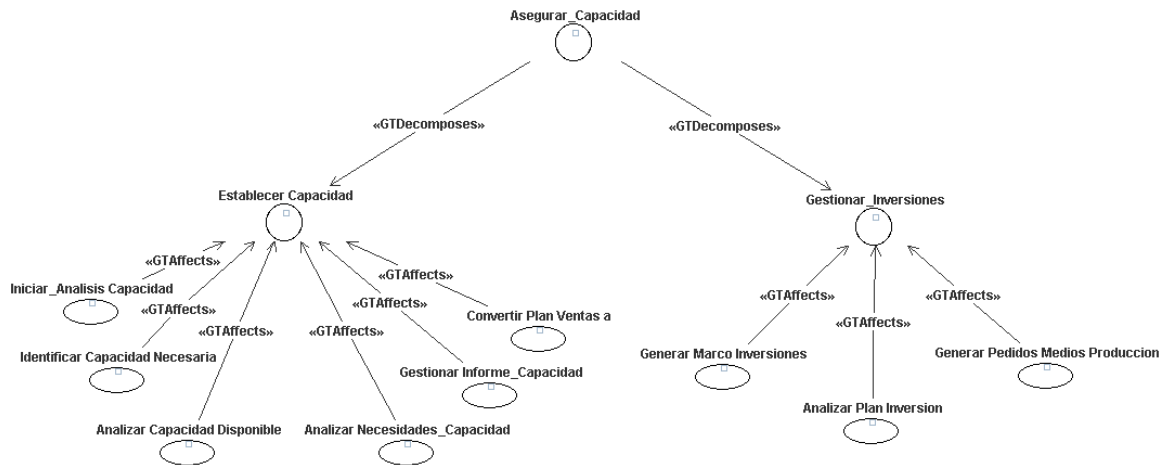
**Figura 15. Estructuración Inicial de Objetivos (II).**



**Fuente:** Elaboración propia, mayo 2010.

Para satisfacer los objetivos planteados anteriormente, se definen tareas que más tarde se incorporarán a los flujos de trabajo de la organización. La identificación de estas tareas ha sido guiada por los objetivos que se ha encontrado en las interacciones. Para cada objetivo se han creado tareas y la forma exacta en que intervienen estas tareas se definirá más adelante. Las tareas y objetivos de gestión de recursos y medios de producción están en el Anexo II.

**Figura 16. Tareas Asociadas al objetivo: Asegurar Capacidad.**



**Fuente:** Elaboración propia, mayo 2010.

En la Figura 16 se muestra los objetivos *establecer capacidad* y *gestionar inversiones*, cada uno con sus respectivas tareas.

Las tareas asociadas al objetivo *Establecer Capacidad* son:

- Iniciar Análisis de Capacidad: su función es interpretar las cuatro posibles entradas (*Solicitud de plan de producción, Plan agregado NO viable, Solicitud de modificación del plan agregado o Reinicio de capacidad*) para así dar comienzo al proceso de análisis de capacidad.
- Identificar Capacidad Necesaria: a partir del plan de ventas y el horizonte de planificación, se determina cuál es la capacidad que se necesita para satisfacer la producción.
- Analizar Capacidad Disponible: dada la capacidad disponible por PPC, se hace una interpretación de la misma y se determina la capacidad de producción o un informe de capacidad cuando ésta es insuficiente.
- Analizar Necesidades de Capacidad: se ejecuta después de haber recibido un informe de capacidad insuficiente y comprobar que este problema se ha venido presentando en repetidas ocasiones, y se determina cuáles son las necesidades para que la capacidad de producción sea la requerida.
- Generar Informe de Capacidad: su función es realizar un informe con la capacidad de producción con la que contará la empresa para el horizonte de planificación.
- Convertir plan de ventas a unidades agregadas: se encarga de convertir el plan de ventas a un plan en unidades agregadas.

Las tareas asociadas al objetivo *Gestionar Inversiones* son:

- Generar Marco de Inversiones: a partir de las necesidades de capacidad, se genera un reporte de las inversiones necesarias para suplir la capacidad que se requiere para el horizonte de planificación.
- Analizar Plan de Inversiones: entregado el plan de inversiones por PE, se analiza si éste fue o no aprobado.
- Generar pedidos de medios de producción: aprobado el plan de inversiones, se solicita un pedido con los medios de producción necesarios para suplir la capacidad de producción.

En la Figura 17, tanto el objetivo *determinar plan agregado* como *administrar plan agregado* se descompone en sus respectivas tareas. Ellas son:

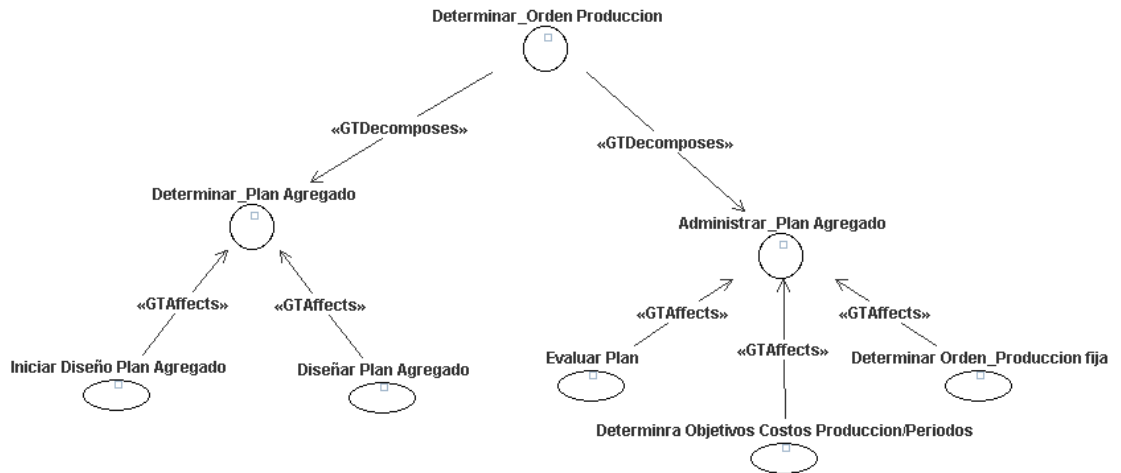
- Iniciar Diseño Plan Agregado: su función es dar inicio al proceso de diseño del plan agregado, al recibir el informe de la capacidad de producción.
- Diseñar Plan Agregado: se encarga de diseñar un plan agregado para un horizonte de planificación.

Las tareas asociadas al objetivo *administrar plan agregado*:

- Evaluar Plan: entregado el plan agregado, se evalúa de acuerdo con el plan de ventas, los costos de producción y las políticas de la empresa, y se determina si este plan es o no satisfactorio.
- Determinar objetivos costos de producción: establecido el plan agregado, se definen los objetivos de costos de producción mensual o trimestral según como se haya planificado.

- Determinar Orden de Producción fija: plasma en una hoja de ruta el plan agregado y los objetivos de costos de producción para ser enviados a PPC.

**Figura 17.** Tareas Asociadas al Objetivo: Determinar Orden Producción.

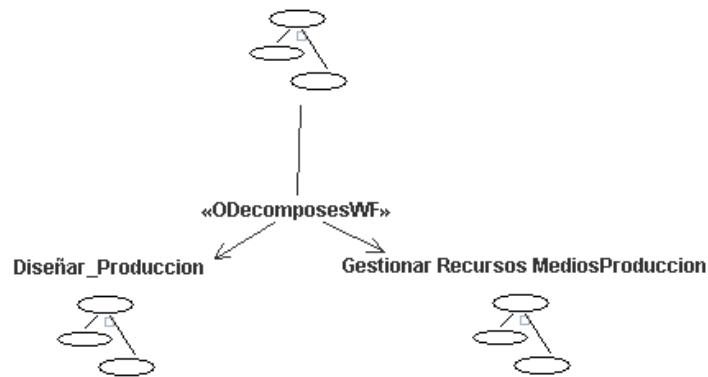


**Fuente:** Elaboración propia, mayo 2010.

- **Flujos de trabajo (Modelo de Organización)**

En la Tabla 15 se presentan las actividades necesarias para identificar los flujos de trabajo, los cuales demuestran la funcionalidad del ámbito planificación de la producción, ya que su objetivo es: establecer cómo se asignan los recursos, qué tareas son necesarias para la consecución de un objetivo, y quiénes son los responsables de ejecutarlas. La descripción de cada flujo de trabajo se realiza a través del análisis del diagrama funcional de este ámbito, (Ver Figura 4) en el cual se identifican los límites entre cada flujo y su evolución en el tiempo.

**Figura 18.** Descomposición de Flujo trabajo Planificación Producción.



**Fuente:** Elaboración propia, mayo 2010.

**Tabla 15.** Actividades requeridas para la identificación de flujos de trabajo.

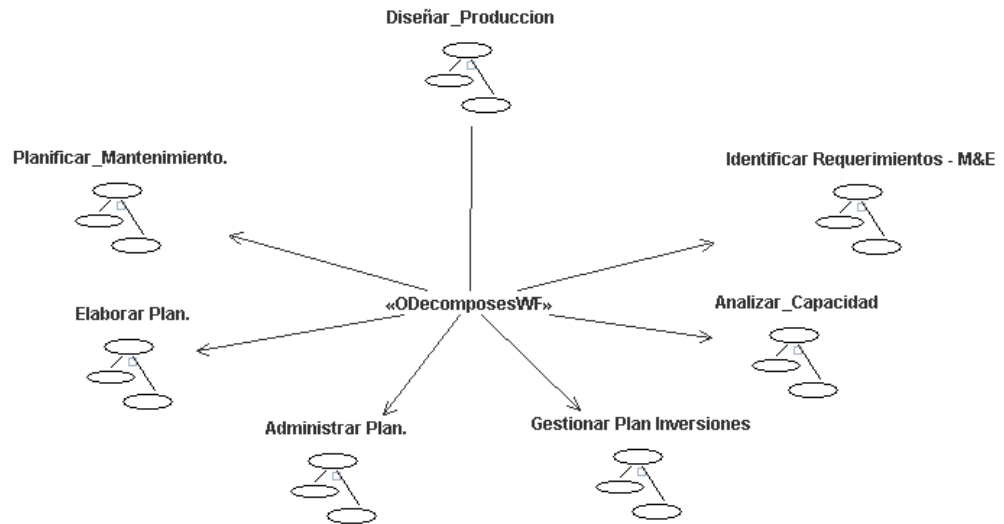
ACTIVIDAD	RESULTADO	FIGURA	UBICACIÓN EN EL DIAGRAMA
Identificar flujos de trabajo.	Instancias de flujos de trabajo asociadas a una organización.	Figura 18	
Aplicar descomposición entre flujos de trabajo.	Descomposición de los flujos de trabajo.	Figura 19	
Asociar tareas a flujos de trabajo.	Un conjunto de tareas asociadas a un flujo de trabajo.	Figura 20 Figura 21	
Conectar tareas.	Instancias de WF conecta.	Figura 22 Figura 24	
Identificar entidades mentales.	Asociaciones de las tareas con entidades mentales mediante instancias de WF consume y WF Produce.	Figura 23 Figura 25	
Identificar responsables.	Instancias de WF Responsable asociando roles, agentes o tareas.	Figura 26 Figura 27	

**Fuente:** Elaboración propia, julio 2010.

En la Figura 18, se observa el flujo de trabajo *Planificación de la Producción*, que se encarga de lo concerniente a la planificación de la producción de una empresa; éste a su vez se refina en dos flujos de trabajo: *Diseñar Producción*, y *Gestionar recursos de medios de producción*, responsable de establecer y administrar la planificación del trabajo y la planificación del montaje.



**Figura 19.** Descomposición de Flujo de Trabajo Diseñar Producción.



**Fuente:** Elaboración propia, mayo 2010.

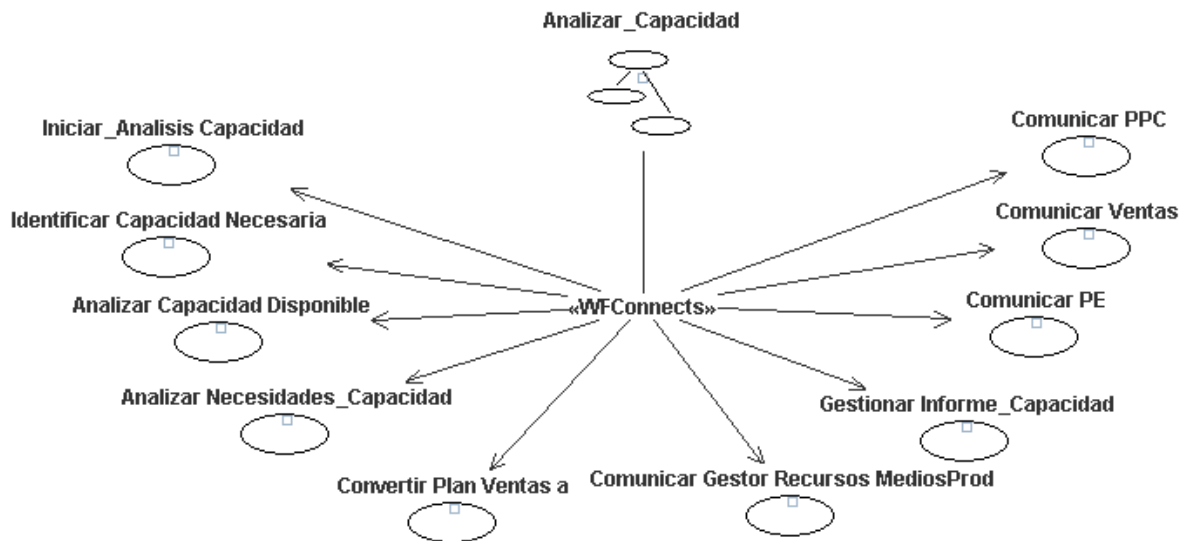
En la Figura 19 se muestra cómo el flujo de trabajo *Diseñar Producción* se refina en los flujos de trabajo:

- *Planificar Mantenimiento:* flujo encargado de elaborar el plan de mantenimiento.
- *Elaborar Plan:* responsable de diseñar el plan agregado de producción.
- *Administrar Plan:* se encarga de evaluar el plan agregado de producción.
- *Gestionar Plan de Inversiones:* es responsable de gestionar las inversiones necesarias para satisfacer el plan agregado.
- *Analizar Capacidad:* se encarga de hacer un análisis de la capacidad que se necesita para suplir el plan de ventas en el horizonte de planificación establecido.
- *Identificar requerimiento de M&E:* es responsable de identificar los materiales y energía (M&E) a mediano plazo, a partir del plan agregado, y gestionar los requerimientos de la orden de compra de M&E.

El refinamiento del flujo de trabajo *Gestionar recursos de Medios de Producción*, se muestra en el Anexo II.

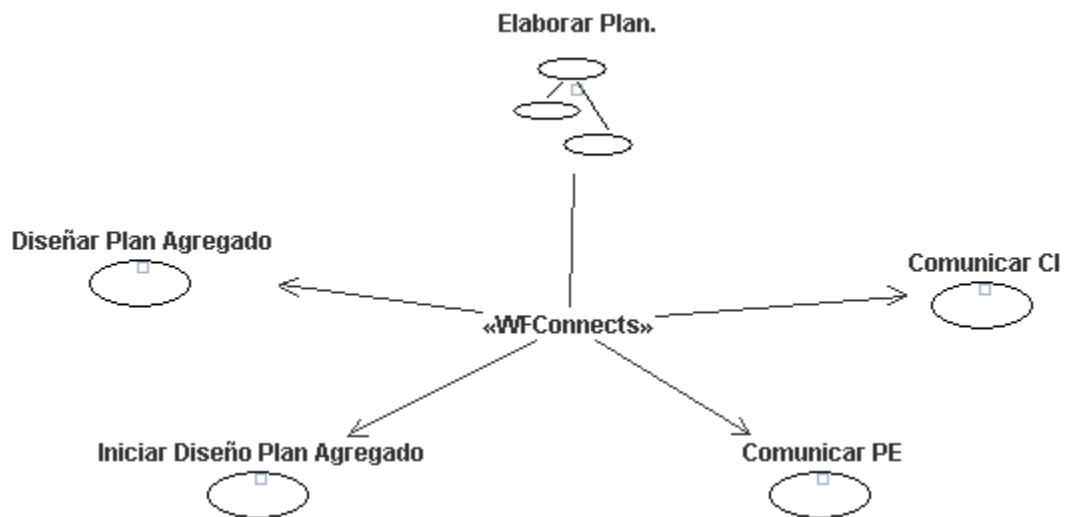
El flujo de trabajo *Analizar Capacidad*, como se muestra en la Figura 20, se compone por diez tareas y es a través de ellas como se comprueba la capacidad de la empresa, o si es necesario hacer inversión de medios de producción para alcanzar la capacidad requerida.

**Figura 20.** Tareas que componen flujo de trabajo: Analizar Capacidad.



**Fuente:** Elaboración propia, mayo 2010.

**Figura 21.** Tareas que componen flujo de trabajo: Elaborar Plan.

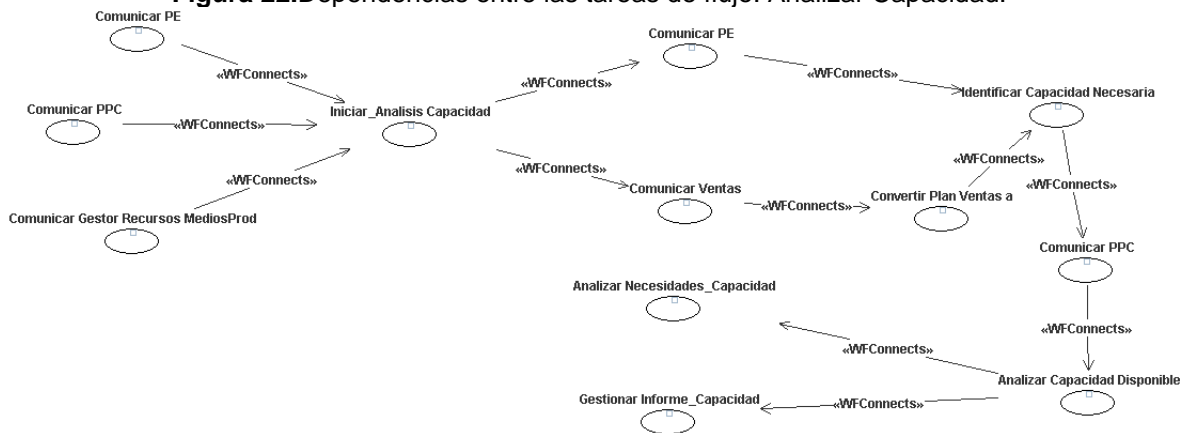


**Fuente:** Elaboración propia, mayo 2010.

El flujo de trabajo *Elaborar Plan* (Figura 21) requiere la ejecución de por cuatro tareas: *Comunicar CI*, *Comunicar PE*, *Diseñar Plan Agregado* e iniciar *Diseño de plan agregado*.

La secuencia de ejecución de las tareas, así como los hechos que consumen y producen, se muestran en las siguientes gráficas. Sin embargo las relacionadas a los otros flujos de trabajo se ilustran en el Anexo II.

**Figura 22.** Dependencias entre las tareas de flujo: Analizar Capacidad.



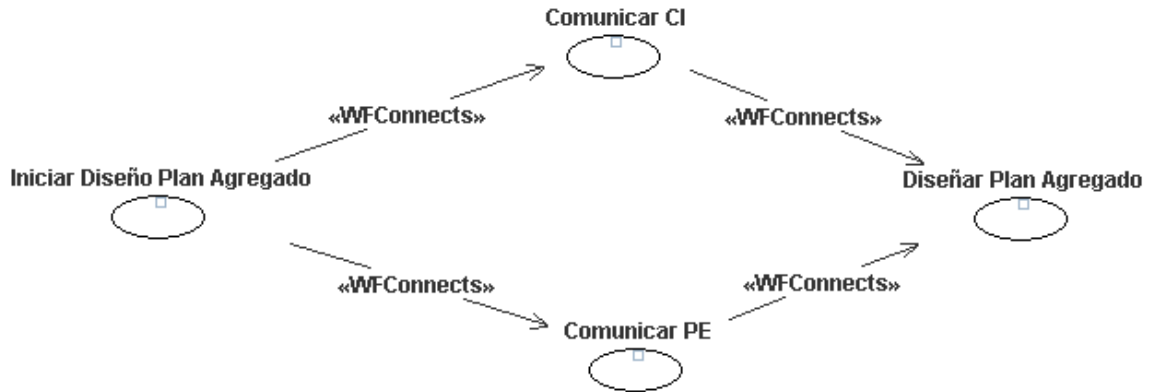
**Fuente:** Elaboración propia, mayo 2010.

En estos diagramas (Figuras 22, 23) se muestra que las tareas *Comunicar PE*, *Comunicar PPC* y *Comunicar Gestor Recursos Medios Producción* pueden iniciar el análisis de la capacidad, dado que traen información referente a una solicitud de plan de producción, o un rechazo por no viabilidad del plan por parte de PPC, o una solicitud de modificación del plan agregado por parte del gestor de medios de producción, debido a un fallo en el proceso productivo, que retrasó o afectó de manera significativa el plan en ejecución.

Siguiendo esto, se consulta el plan de ventas y el horizonte de planificación para calcular la capacidad necesaria y consultar la disponible. De ser insuficiente, se elabora un informe de capacidad insuficiente y se analizan las necesidades de capacidad. Si es suficiente, se genera un informe de la capacidad de producción.

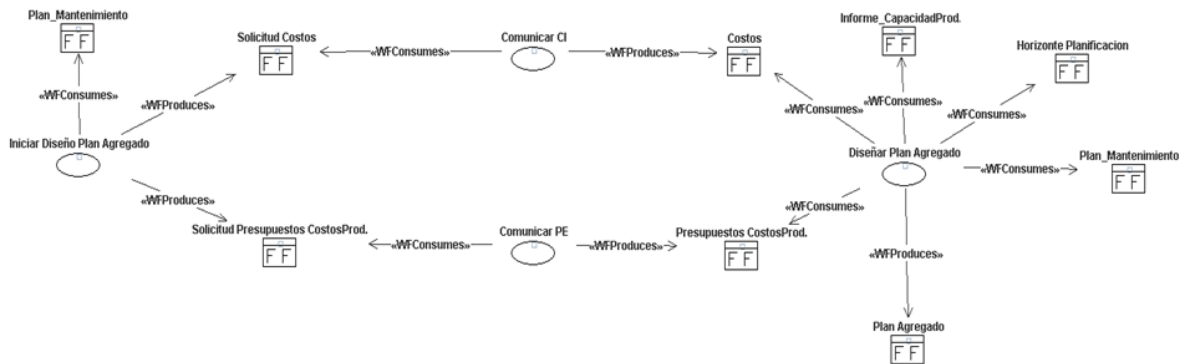


**Figura 24.** Dependencias entre las tareas de flujo: Elaborar Plan.



**Fuente:** Elaboración propia, mayo 2010.

**Figura 25.** Descripción detallada del flujo: Elaborar Plan.

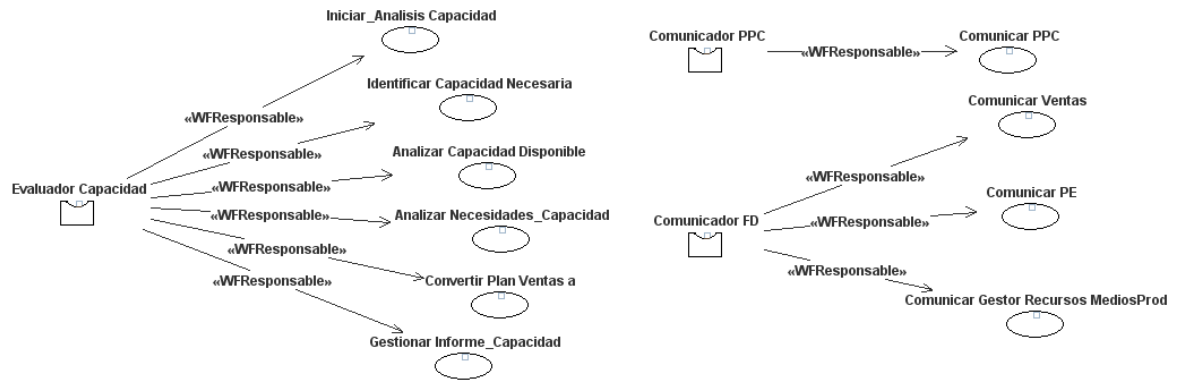


**Fuente:** Elaboración propia, mayo 2010.

En las Figuras 24, 25 se muestra el proceso del flujo de trabajo *Elaboración del plan agregado*. Éste es iniciado por la tarea *Iniciar Diseño de Plan Agregado*, al recibir el informe de la capacidad de producción. Después de inicializado el proceso, se solicitan los costos, el presupuesto de costos de producción, el horizonte de planificación y el plan de mantenimiento para diseñar el plan agregado.

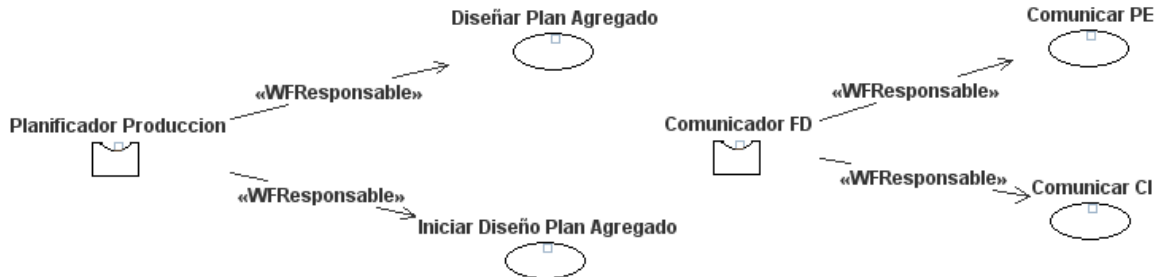
A continuación, se presentan los responsables de la ejecución de los flujos de trabajo *Analizar Capacidad* y *Elaborar Plan* respectivamente.

**Figura 26.** Responsables de la ejecución de tareas en el flujo de trabajo: Analizar Capacidad



**Fuente:** Elaboración propia, mayo 2010.

**Figura 27.** Responsables de la ejecución de tareas en el flujo de trabajo: Elaborar Plan.



**Fuente:** Elaboración propia, mayo 2010.

- **Identificación de tareas que producen una interacción.**

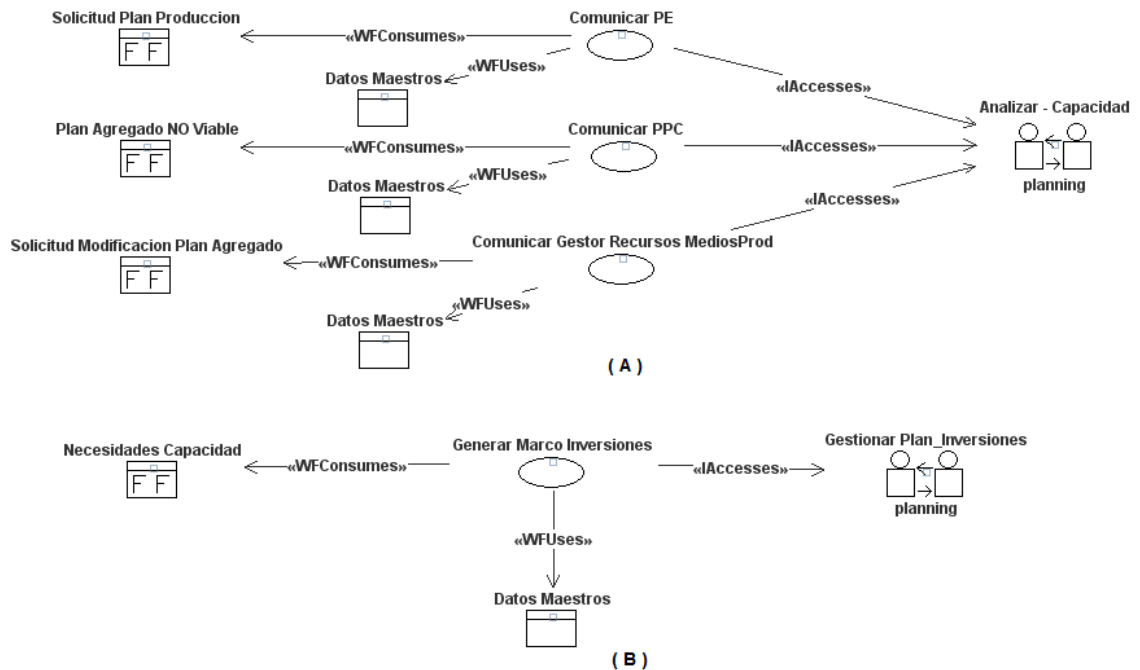
A continuación, se presentan las actividades necesarias para identificar qué tareas son las que activan el flujo de trabajo; además de definir cuáles son los hechos: producidos, consumidos, y las aplicaciones necesarias para su ejecución.

**Tabla 16.** Actividades para identificación de tareas que producen interacciones.

ACTIVIDAD	RESULATDO	FIGURA	UBICACIÓN EN EL DIAGRAMA
Identificar tareas no locales.	Tareas que producen interacciones.	Figura 28 Figura 29	
Asociar tareas con entidades producidas y consumidas.	Instancias de WF Produce e instancias WF Consume.		
Asociar tareas con aplicaciones.	Instancias WF Usa asociando aplicaciones y tareas.		

**Fuente:** Elaboración propia, julio 2010.

**Figura 28.** Entidades consumidas y producidas por tareas (I).



**Fuente:** Elaboración propia, mayo 2010.

La tarea comunicar PE (consumiendo el hecho *Solicitud de Plan de Producción*) o comunicar PPC (consumiendo el hecho *Plan Agregado NO viable*) o Comunicar Recursos Medios Producción (consumiendo el hecho *Solicitud Modificación de Plan Agregado*) inician la interacción, *Analizar Capacidad*, como se muestra en la Figura 28 (A).

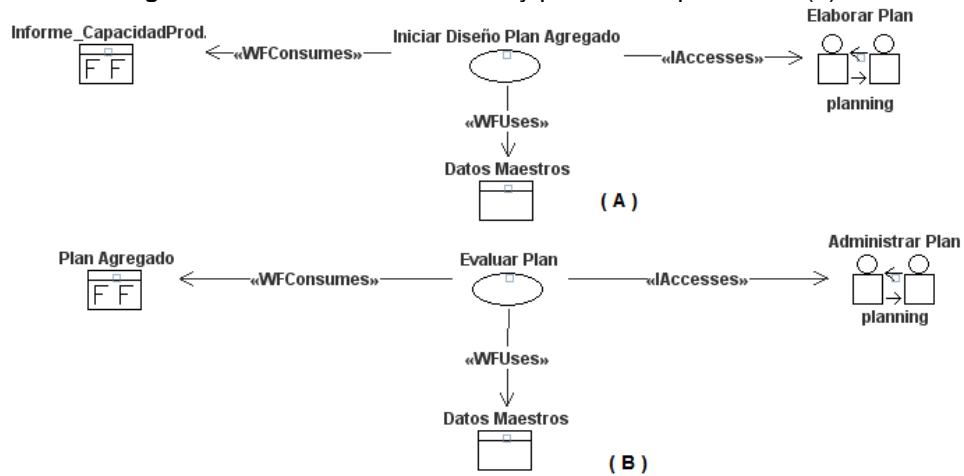
En la Figura 28 (B), la interacción *Gestionar Plan Inversiones* es iniciada por la tarea *Generar Marco de Inversiones* cuando se consume el hecho *Necesidades de Capacidad*.

Los datos maestros son consultados durante la ejecución de las tareas para complementar la información, como en el caso de generar marco de inversiones acerca de qué equipo haría falta.

La tarea *Iniciar Diseño Plan Agregado* inicia la interacción *Elaborar Plan* consumiendo el hecho *Informe de capacidad de producción* (Figura 29 (A)).

En la Figura 29 (B) se muestra cómo la interacción *Administrar Plan* es iniciada por la tarea *Evaluar Plan*, cuando ésta consume el hecho *Plan Agregado*.

**Figura 29. Entidades consumidas y producidas por tareas (II).**



**Fuente:** Elaboración propia, mayo 2010.

• **Unidades de Interacción (Modelo de Interacción)**

Debido a que los modelos de interacción se relacionan con los flujos de trabajo a través de las unidades de interacción y además éstas son las encargadas del paso de mensajes entre agentes, es necesario identificarlas, y son las tareas presentes en este diagrama las encargadas de enviar o recibir los mensajes. De forma similar a las interacciones, una *unidad de interacción* también describe quién la inicia (*UI Inicia*), quién colabora (*UI Colabora*) y qué tareas se ejecutan en cada una.

Las unidades de interacción se ordenan de una forma determinada, teniendo en cuenta quién la precede y quién continúa, dependiendo de las necesidades de la interacción. El orden en que suceden las unidades de interacción también se muestra en la parte inferior del gráfico.

**Tabla 17. Actividades para identificar las unidades de interacción.**

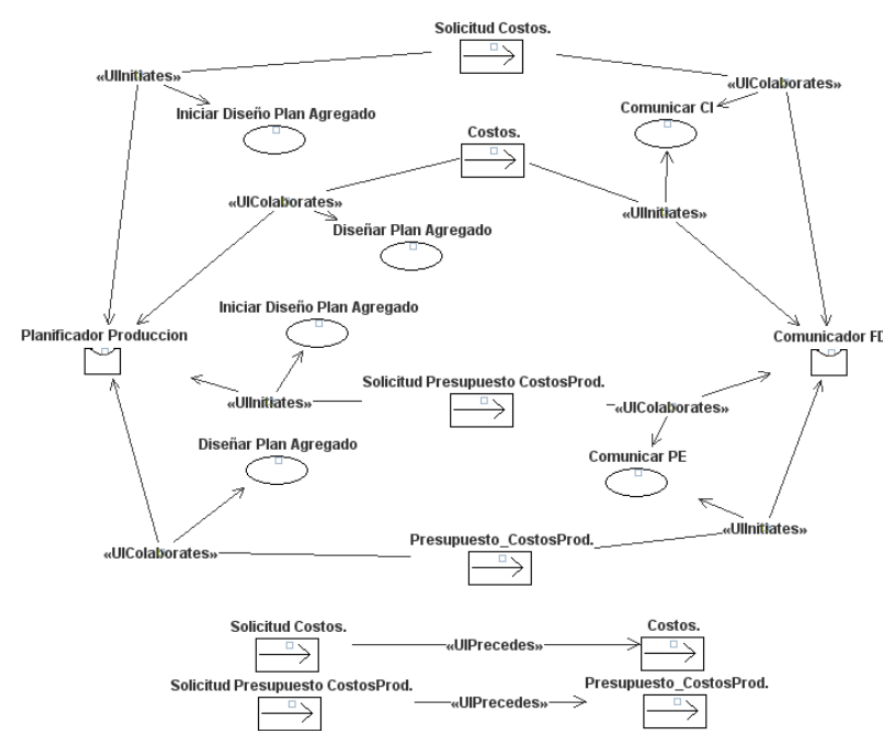
ACTIVIDAD	RESULTADO	FIGURA	UBICACIÓN EN EL DIAGRAMA
Traducir mensajes.	Diagramas GRASIA donde se asocian roles con unidades de interacción.	Figura 30 Figura 31	<p>The diagram shows the location of interaction units in the GRASIA model. It is divided into six columns: DIAGRAMA FUNCIONAL, CASOS DE USO, MODELO AGENTE, MODELO INTERACCIÓN, MODELO OBJETIVOS &amp; TAREAS, MODELO ORGANIZACIÓN, and MODELO ENTORNO. The 'MODELO INTERACCIÓN' column contains a red dashed box around 'Traducir mensajes' and 'Establecer orden de ejecución'. The 'MODELO OBJETIVOS &amp; TAREAS' column contains 'Asociar tareas con entidades producidas y consumidas' and 'Asociar tareas con aplicaciones'. The 'MODELO ORGANIZACIÓN' column contains 'Identificar tareas no locales'. The 'MODELO ENTORNO' column contains 'Estimular la percepción del agente'.</p>
Asociar tareas Establecer orden de ejecución.	Relaciones de unidades de interacción mediante primitivas UI Precede.		

**Fuente:** Elaboración propia, julio 2010.





**Figura 31.** Identificación y Ordenación de las unidades de interacción para la interacción: Elaborar Plan



**Fuente:** Elaboración propia, mayo 2010.

- **Modelo de Agente**

Se han definido tres agentes para el sistema de la planificación de la producción: agente Diseñador de la Producción, agente Gestor de Recursos de Medios de Producción y agente Comunicador. Para cada agente se tienen que asociar las metas y los roles que tienen. (Los roles identificados en las interacciones se asocian con los agentes que los desempeñan). En la siguiente Tabla se muestran las actividades requeridas para identificar los agentes, su comportamiento y responsabilidades.

El principio utilizado para realizar la identificación de los agentes es el de racionalidad de Newell. Plantea a los agentes como entidades racionales que ejecutan acciones que les llevan a satisfacer sus propósitos [16]; de esta manera, se asoció lo referente al “cuándo producir”, al agente *Diseñador* y lo referente a la planificación del “cómo hacer”, al agente *Gestor*. Un tercer agente es el *Comunicador*, que encierra todas las actividades que permiten la comunicación entre agentes de acuerdo con el planteamiento propuesto. Los roles que se encuentran con los casos de uso se asocian a los objetivos específicos que se presentaron en el modelo de objetivos y tareas (Ver Figura 32).

Tabla 18. Actividades para identificar el modelo de agente.

ACTIVIDAD	RESULTADO	FIGURA	UBICACIÓN EN EL DIAGRAMA
Asociar objetivos a roles.	Asociación de roles con objetivos.	Figura 32 Figura 33	
Identificar agentes usando el principio de racionalidad.	Un conjunto de agentes.		
Asociar objetivos a agentes.	Objetivos asociados a agentes.		
Asociar funcionalidad con objetivos.	Un conjunto de roles y tareas.		
Determinar cómo se pasa de un estado mental a otro.	Descripción textual.	Figura 34 Figura 35 Descripción textual	
Detallar estados intermedios.	Instancias de modelo de agente donde se asocia una instancia de agente concreto a instancias de estado mental.		
Identificar aspectos de autonomía e inteligencia.	Descripción textual.		
Determinar cómo será el Gestor y Procesador mental.	Descripción textual.	-----	-----

Fuente: Elaboración propia, julio 2010.

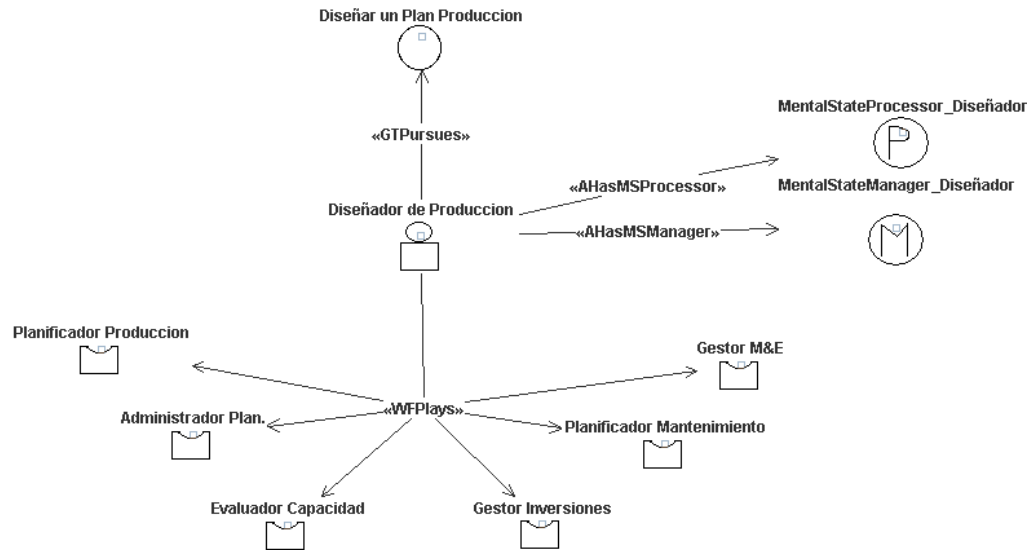
Figura 32. Asociación de roles a objetivos.



Fuente: Elaboración propia, mayo 2010.

Por lo tanto, la asociación de roles y objetivos se asocian a agentes dependiendo de la funcionalidad que presten.

**Figura 33.** Modelo De Agente para el Agente Diseñador de Producción.



**Fuente:** Elaboración propia, mayo 2010.

La funcionalidad y el modo de operación de cada uno de los agentes depende de los roles que asuman éstos 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 [16].

El agente Diseñador de la Producción presenta cualidades de inteligencia basadas en una red neuronal, que le permite diseñar el plan agregado, basándose en criterios de planificación y políticas de la empresa, además de otorgarle capacidad de aprendizaje para diseñar un plan agregado cada vez mejor.

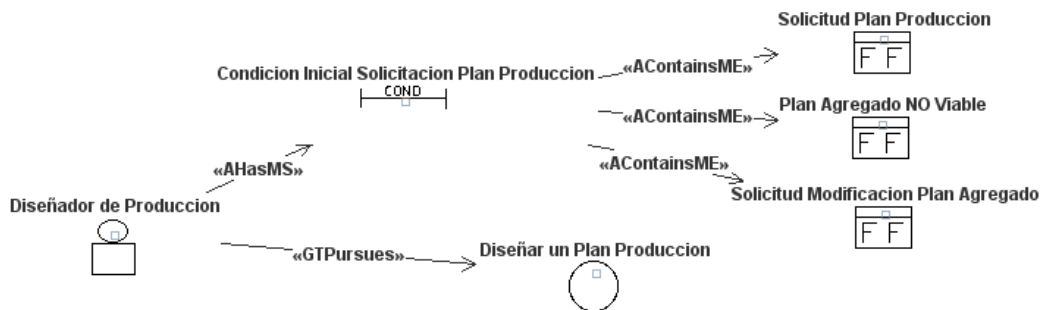
La autonomía del agente es limitada por concepto de diseño, ya que siempre será necesaria la aprobación del plan por el ingeniero encargado de la planificación, es decir, el agente tendrá la función de asistente en el proceso de planificación de la producción; sin embargo, el agente podrá decidir qué acciones realizar, cuándo hacerlas y, además, solicitar y recibir información de manera autónoma.

El objetivo que persigue este agente es el de *Diseñar un plan de producción*, y para alcanzar este objetivo el agente juega seis roles:

- Planificador de la Producción: se encarga de diseñar el plan agregado de producción para un periodo de tiempo determinado.
- Administrador del Plan: su función es evaluar y administrar el plan agregado.
- Evaluador de la Capacidad: se encarga de evaluar la capacidad de producción necesaria para un determinado horizonte de planeación.
- Gestor de Inversiones: su función es gestionar un marco de inversiones necesarias para satisfacer la capacidad de producción requerida por el plan de ventas.
- Planificador de Mantenimiento: planifica el mantenimiento de los medios de producción.
- Gestor M&E: se encarga de tramitar los requerimientos de compra de materiales y energía a mediano plazo.

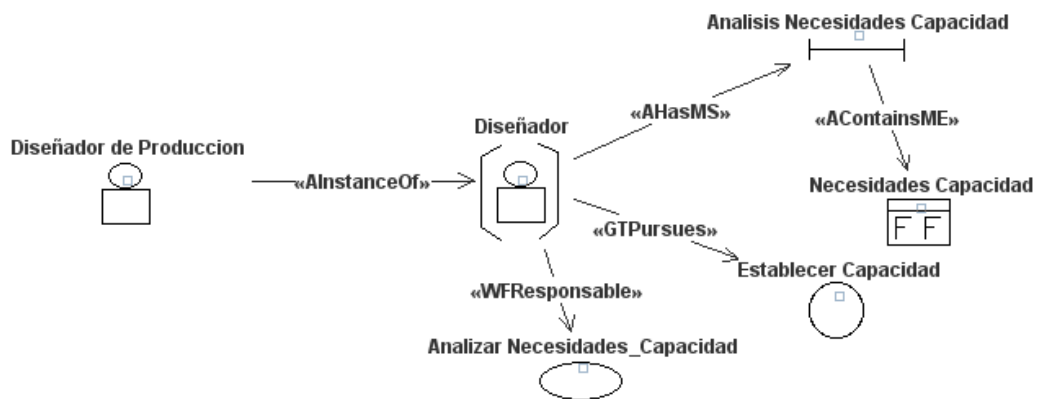
En la Figura 34, se aprecia el estado mental inicial del agente *Diseñador*. Aquí el agente se encuentra en espera de cualquiera de los hechos: solicitud plan de producción, plan agregado no viable o solicitud modificación plan agregado para iniciar el proceso de diseño del plan de producción.

**Figura 34.** Estado inicial para el agente Diseñador



**Fuente:** Elaboración propia, mayo de 2010

**Figura 35.** Agente ejecutor: Representación de la instancia *Análisis necesidades capacidad* del agente *Diseñador*.



**Fuente:** Elaboración propia, mayo 2010.

Este diagrama (Figura 35) muestra un ejemplo de estados intermedios que asume el agente *Ejecutor*; aquí se representa el instante en que el agente *Diseñador* se encuentra ejecutando la tarea: *Analizar necesidades de capacidad*, en busca de la satisfacción del objetivo *establecer capacidad*.

- **Modelo de entorno.**

Por último, en la Tabla 19 se presentan las actividades necesarias para obtener el modelo de entorno del SMA.

**Tabla 19.** Actividades necesarias para generar el modelo de entorno.

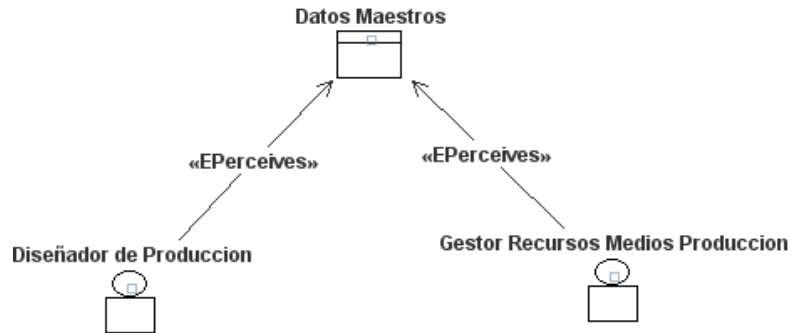
ACTIVIDAD	RESULTADO	FIGURA	UBICACIÓN EN EL DIAGRAMA
Identificar aplicaciones del entorno.	Un conjunto de aplicaciones.	Figura 36.	
Determinar la percepción del agente.	Asociaciones entre agentes y aplicaciones.		

**Fuente:** Elaboración propia, julio 2010.

El entorno está constituido por una base de datos llamada *Datos Maestros* que hace referencia al modelo CIMFIET y aquí se almacena:

- Horizonte de Planificación
- Plan de Ventas
- Capacidad Necesaria
- Reporte de marco de inversiones
- Plan de inversiones
- Informe de Capacidad de Producción
- Pedidos de medios de producción
- Estándares y métodos de mantenimiento
- Plan de mantenimiento
- Plan agregado
- Objetivos de costos de producción
- Inventario
- Requerimientos para la orden de materiales y energía
- Datos de corrección de procesos de trabajo
- Producto y proceso Know-How
- Requisitos y especificaciones de calidad
- Programas NC, RC, PLC
- Plan de trabajo
- Plan de montaje
- Requerimientos de piezas de ensamble
- Instrucciones de montaje
- Lista de piezas de montaje
- Recetas

**Figura 36.** Entidades identificadas en el entorno.

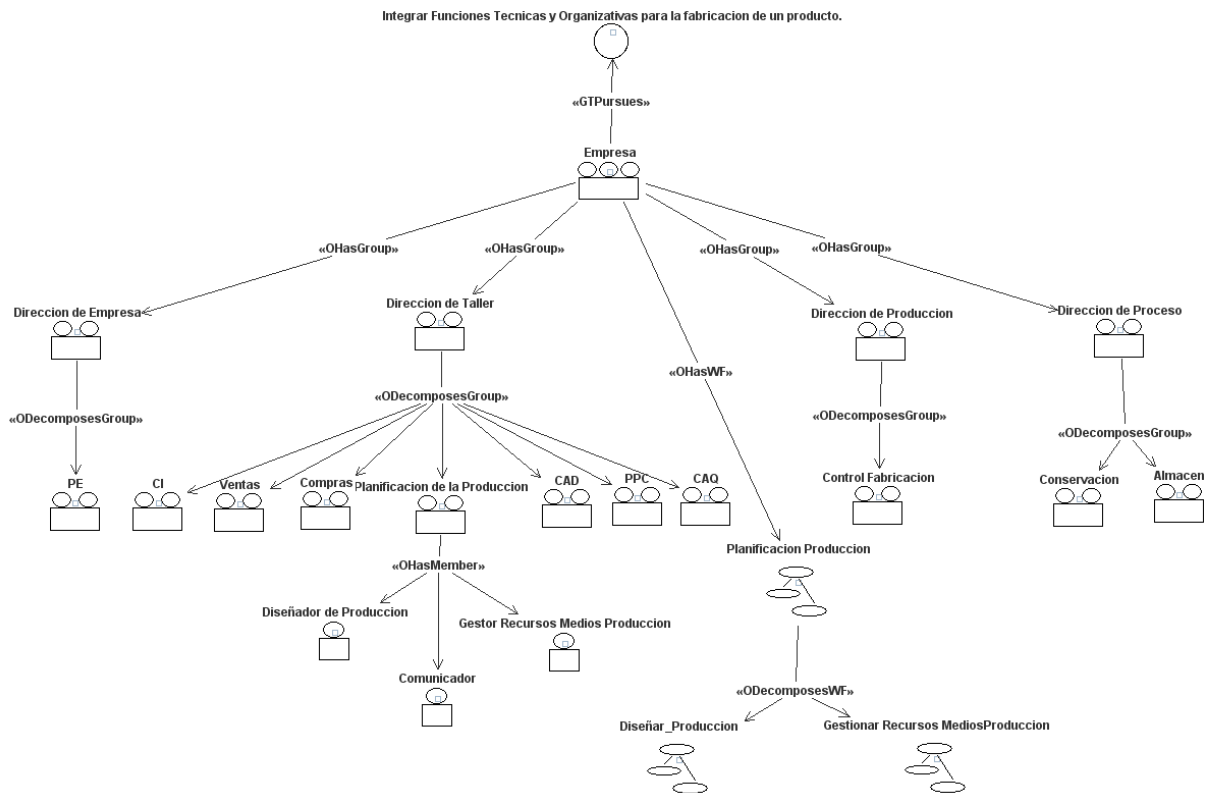


**Fuente:** Elaboración propia, mayo 2010.

Esta información es necesaria para que los agentes *Diseñador de la producción* y *Gestor de los recursos de los medios de producción* puedan ejecutar sus tareas. Las aplicaciones para acceso al sistema e introducción de información se dejan a criterio del programador.

Finalmente, el modelo de organización queda descrito por la siguiente gráfica, en el que se aprecian los agentes ya constituidos, pertenecientes al grupo de planificación de la producción, y los flujos de trabajo que rigen su comportamiento.

**Figura 37.** Modelo de organización Final del SMA de la Empresa



**Fuente:** Elaboración propia, mayo 2010.

El grupo *planificación de la producción* contiene tres agentes: el *Diseñador*, el *Gestor* y el *Comunicador*; así mismo dentro de la organización se distingue el flujo de trabajo: *Planificación de la producción* que se descompone en los flujos de trabajo *Diseñar Producción* y *Gestionar recursos de medios de producción*. Estos flujos se refinan en otros flujos de trabajos (ver anexo II).

### **3.3. Verificación del dinamismo del agente *Diseñador de la producción* a través de su Gestor y Procesador Mental.**

Para demostrar la dinámica del modelo resultante, en la Figura 38 se muestra el ciclo de vida del agente *Diseñador* de la producción a través de cada uno de los flujos de trabajo, en los que él interviene para satisfacer su objetivo, *Diseñar la Producción*. Con esto se trata de dar a conocer el comportamiento dinámico del agente y cómo evoluciona en el tiempo, a través de sus estados mentales intermedios, mediante la intervención de su Gestor y Procesador mental.

INGENIAS no especifica 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 [16].

El procesador mental del agente tendrá que tener en cuenta que debe decidir de manera autónoma de acuerdo con unas reglas en las siguientes situaciones:

- Al ejecutar la tarea *Analizar capacidad de Producción* en el flujo *Análisis de Capacidad*, se pueden presentar dos situaciones: la primera en caso de haber capacidad de producción insuficiente, lo que lleva a la realización de un informe de capacidad insuficiente, dando paso a la ejecución de la tarea *Analizar necesidades de Capacidad* y la segunda ocurre si la capacidad es suficiente, en cuyo caso, se genera un informe de capacidad suficiente y se da paso a la tarea, *Generar informe de capacidad*.
- Al ejecutar la tarea *Analizar Plan de Inversiones* del flujo *Gestionar Plan de Inversiones*, puede ocurrir que la gerencia en el ámbito PE no haya aprobado el plan de inversiones, en cuyo caso se emite una señal de no aprobación del plan y se continua la planificación con la capacidad disponible. Si se aprueba la totalidad o parte del plan, la tarea *Generar pedidos de Medios de Producción* se inicia con este plan.
- Y al ejecutar la tarea *Evaluar Plan* del flujo de trabajo puede presentarse que el plan se ajuste a las políticas de la empresa, por lo que se emite un reporte de plan agregado satisfactorio; si no es aprobado, se emite un reporte de plan agregado insatisfactorio.

El Gestor de Estado Mental es el encargado de definir cómo se pasa de un estado mental a otro, además de definir el cumplimiento de los objetivos del agente [16]. A continuación en un breve texto se explica cómo es la transición entre los estados mentales que terminan e inician los flujos de trabajo y cómo algunos de estos, son los encargados de satisfacer los objetivos propuestos para el agente.



**Figura 38.** Comportamiento del agente Diseñador de la Producción dentro de sus flujos de trabajo.

**Fuente:** Elaboración propia, mayo 2010

El primer flujo de trabajo que se presenta en el modelo es el de *Análisis de la Capacidad*, que tiene asociada la interacción *Analizar Capacidad* y persigue el objetivo *Establecer Capacidad*. Tiene como finalidad establecer la capacidad que requiere la empresa para cumplir con su plan de ventas y entregar un informe de capacidad o entregar un informe de necesidades de capacidad. Estos dos hechos darán inicio a los siguientes flujos de trabajo. Dado el primer caso, se elabora el informe de capacidad. Este informe es consumido por la primera tarea del flujo de trabajo *Planificar Mantenimiento*, que sirve como activador mas no como información necesaria para elaborar este plan.

Este informe de capacidad, además, se realiza en caso de haber solicitado una inversión a PE y por algún motivo no fue aprobado. En este caso el informe se hace con la capacidad existente. Es este informe el que satisface el objetivo *Establecer Capacidad*.

Si se presenta el caso de necesitar inversión en medios de producción, el flujo de trabajo *Gestionar Plan de Inversiones* inicia con este hecho que contiene datos acerca de cuál es el producto que está generando gran demanda y qué tipo de máquinas son las que se requieren para su producción y continua con las demás actividades de su flujo.

Estando ya en ejecución el flujo de trabajo de *Gestionar Plan de Inversiones*, éste genera reportes con las siguientes tres variantes. En primer lugar se presenta el hecho de recibir total aprobación del plan de inversiones para lo que se genera un reporte de compras de medios de producción. En segundo lugar, el hecho de que se apruebe sólo una parte del plan, para lo que igualmente se elabora un reporte de compras. En estos casos se emite junto con el reporte de compras un reporte de reinicio de análisis de capacidad que reinicia el flujo de análisis de capacidad y es con este hecho con que se satisface el objetivo *Gestionar Inversión*. Y en tercer lugar se genera un reporte de plan inversión no aprobada que es consumido en la actividad del flujo de trabajo *Analizar capacidad* y se elabora el informe de capacidad con la capacidad existente.

La transición entre el flujo de trabajo *Planificar Mantenimiento* y el flujo *Elaborar Plan* se da gracias al hecho *Plan de mantenimiento* que indica en qué periodos no planificar producción porque hay jornada de mantenimiento y es con este hecho con que se da por cumplido el objetivo *Establecer Plan de Mantenimiento*. Al final de este flujo con la tarea *Diseñar Plan Agregado* se produce el hecho *Plan agregado* que dará comienzo al siguiente flujo *Administrar Plan* para ser evaluado de acuerdo con las políticas de la empresa y además cumplirá el objetivo *Determinar Plan Agregado*.

Este flujo de trabajo puede finalizar con la tarea *Evaluar Plan* con el hecho *Plan Agregado Insatisfactorio* que es consumido por la tarea *Iniciar Plan de Mantenimiento* que reinicia el flujo *Planificar Mantenimiento* o con el hecho *Plan Agregado Satisfactorio* con el que se cumple el objetivo *Administrar Plan Agregado* y que será consumido por la tarea *Identificar requerimientos de materiales y energía* que da comienzo al flujo de trabajo *Identificar Requerimientos de M&E*.

En este último flujo de trabajo, es la tarea *Generar requerimientos para orden de compra de M&E* que produce el hecho *Requerimientos para Orden de Compra de M&E*, que da por satisfecho el objetivo *Generar requerimientos de M&E*.

Cumplidos estos objetivos se da por cumplido el objetivo general del agente *Diseñar un Plan de producción*.

### **3.4. REPRESENTACIÓN DE LA INTEGRACIÓN DEL ÁMBITO PLANIFICACIÓN DE LA PRODUCCIÓN CON LOS DEMÁS ÁREAS FUNCIONALES DE UNA EMPRESA.**

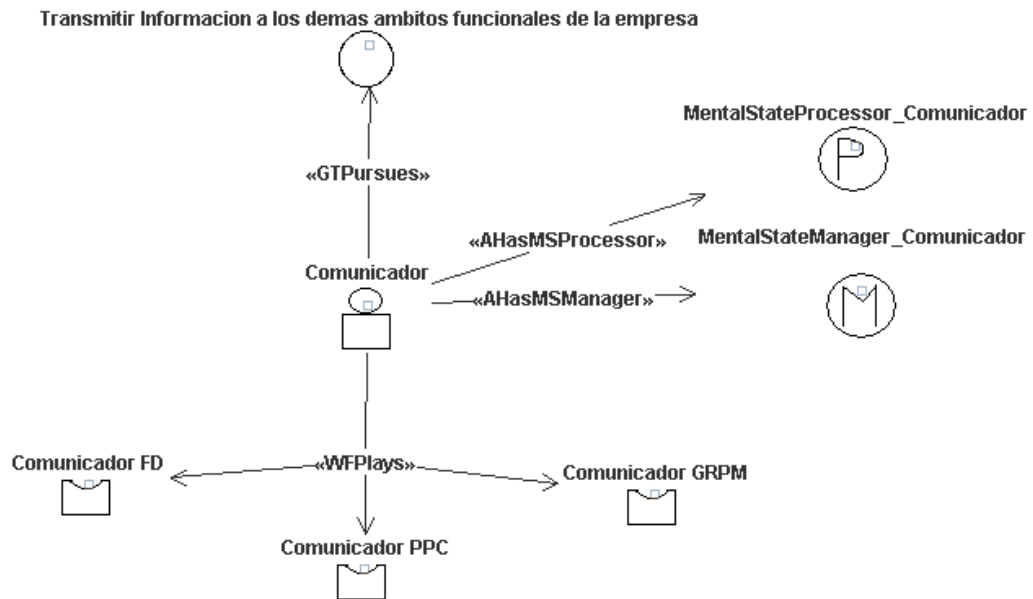
Para representar la integración del ámbito planificación de la producción con las demás áreas funcionales de la empresa se hace necesario presentar el *Agente Comunicador* (Ver Figura 39), que tiene cualidades de autonomía para comunicar información desde y hacia los demás ámbitos de la empresa. Además, este agente podrá decidir a quién enviar información, en qué momento, y solicitar y recibir información de manera autónoma.

Si bien es cierto que todos los agentes tienen la capacidad de comunicarse, cada interacción sólo permite la intervención de dos agentes a la vez, por lo que se decide especializar a un agente en lo referente a la comunicación y agrupar las responsabilidades de trasmisión de mensajes, dependiendo de su origen y destino, en roles para facilitar el proceso comunicativo.

En este agente se identifican tres roles que agrupan las necesidades de comunicación de los agentes de diseño y de gestión como se muestra en la Figura 40 y se presentan las tareas que hacen la comunicación con los demás ámbitos funcionales de las cuales son responsables.

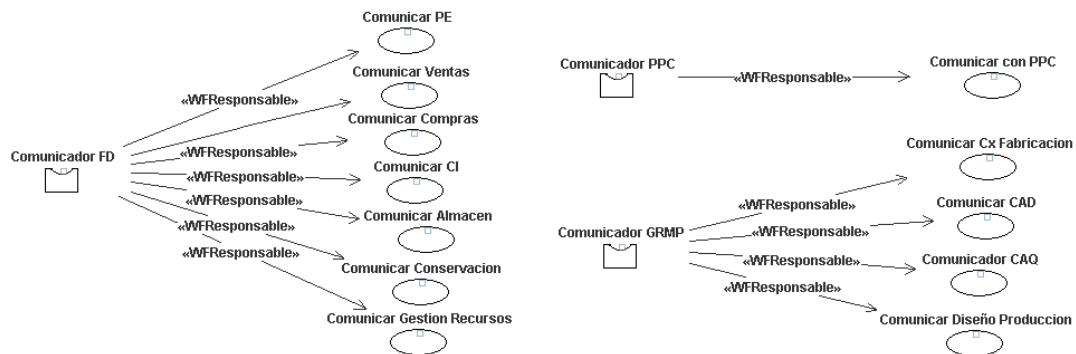
- *Comunicador FD (Fase de diseño)*: encargado de enviar o recibir información desde y hacia PE, Ventas, Compras, CI, Almacén, Conservación y al agente Gestor de Recursos de medios de producción.
- *Comunicador GRPM (Gestión de recursos de medios de producción)*: Encargado de enviar o recibir información desde y hacia Control de fabricación, CAD, CAQ y a la función Diseño de la producción.
- *Comunicador PPC*: Encargado de enviar o recibir información desde y hacia PPC.

**Figura 39.** Modelo agente para el *Agente Comunicador*



**Fuente:** Elaboración propia, mayo 2010

**Figura 40.** Responsables de la ejecución de tareas dentro del Agente Comunicador.



**Fuente:** Elaboración propia, mayo 2010

La Figura 42 es un diagrama en el que se identifican las unidades de interacción y se muestra los roles de los agentes que intervienen en la interacción *Planificar el mantenimiento* especificando quién la inicia y quién colabora, y qué tareas son las que permite estos pasos de mensajes que en el diagrama se presentan como unidades de interacción.

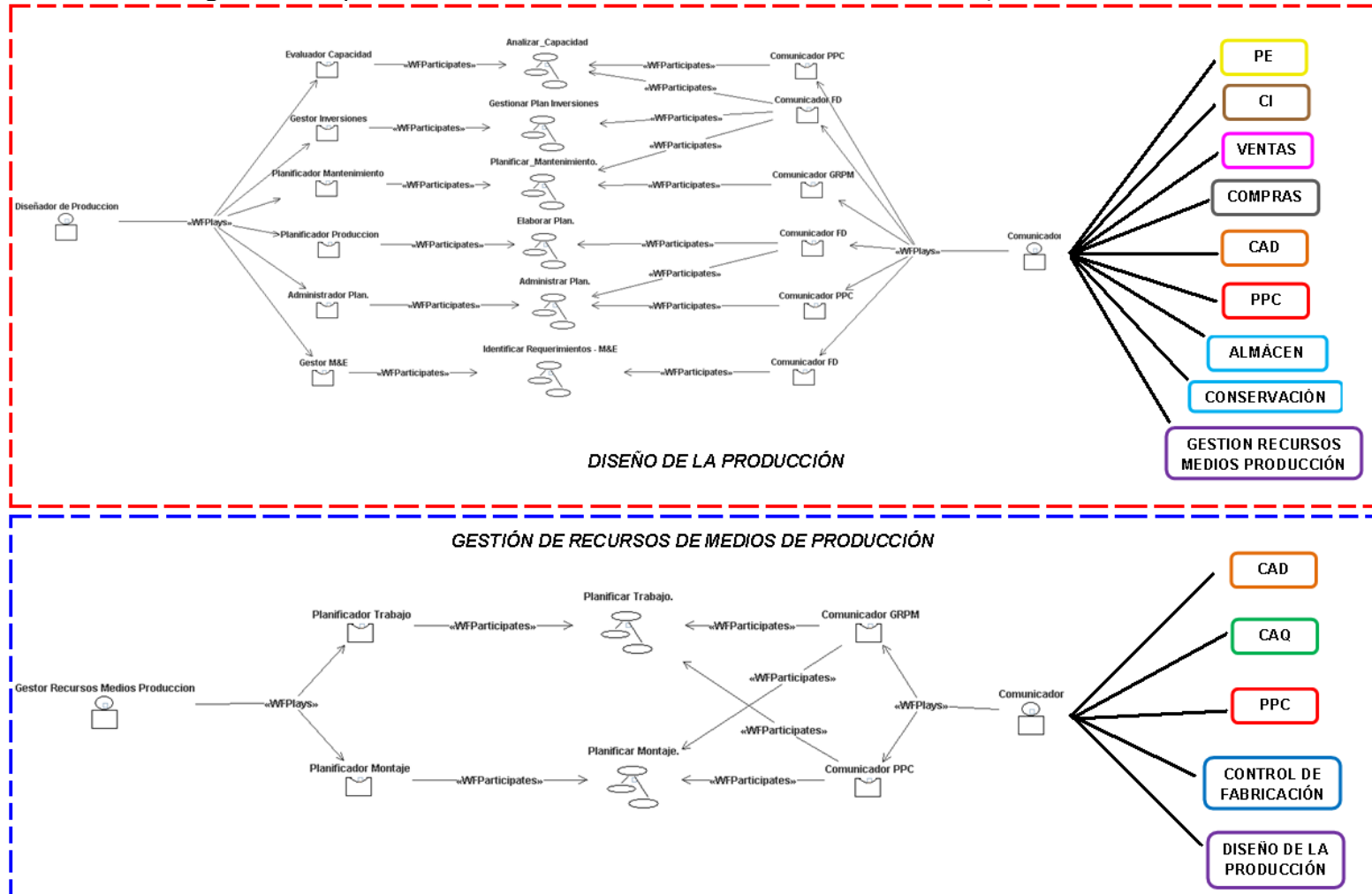
El agente *Comunicador* presenta un comportamiento reactivo, y no necesita mayor deliberación al ejecutar las tareas asociadas a sus roles; sólo se basa en sus creencias y en la etiqueta de los mensajes para saber de quién recibir y a quién enviar. De acuerdo con esto, las unidades de interacción del flujo *Planificación del mantenimiento* cuando el agente *Diseñador* (en su rol de planificador de mantenimiento) *solicita las estadísticas de fallos de medios de producción* al tiempo que *Solicita los estándares y métodos de*

*mantenimiento*, el *Comunicador*, en sus roles de *Comunicador FD* y *Comunicador GRPM*, colabora ejecutando las tareas *Comunicar CAD* y *Comunicar Conservación*, enviando la información a los respectivos agentes y espera su respuesta. Posteriormente al tener la información solicitada, éste la envía al agente *Diseñador* para que continúe con la planificación del mantenimiento.

Cuando el agente *Diseñador* termina de planificar el mantenimiento tiene la obligación de enviarlo al área de conservación para lo que de nuevo el agente *Comunicador* colabora y recibe esta información guardándola en su base de datos interna y espera hasta que *Conservación* la solicite.

En la Figura 41 se presentan los ámbitos funcionales con los cuales se comunica el agente *Comunicador*. Además, se muestran los diferentes roles que intervienen en los procesos de comunicación, así como los flujos de trabajo en los cuales participan.

Figura 41. Representación dinámica del ámbito de la *Planificación de la producción* con SMA.



Fuente: Elaboración Propia, mayo 2010



En este capítulo se logró representar el ámbito de planificación de la producción como un modelo dinámico a través de la tecnología de agentes, usando la metodología INGENIAS. Éste se plantea como un grupo de un SMA y está compuesto por agentes que se distribuyen las funciones de este ámbito, con el propósito de buscar eficacia y eficiencia en las actividades principales del sistema.

También se pueden identificar aportes como son:

Un diagrama de flujo en el tiempo que representa la secuencia de pasos para modelar con la metodología INGENIAS. Esto con el propósito de ayudar al diseñador a seguirla con mayor facilidad, a la vez que le muestra qué actividades puede ejecutar a medida que avanza y cuáles actividades necesita para la ejecución de otra.

Un modelo dinámico del ámbito representado con esta metodología en el que se muestra, mediante diagramas, el dinamismo del sistema; a la vez, que se evidencia su capacidad de reacción y sobre todo su cooperación y sociabilidad, ya que en cada interacción las actividades se pueden llevar a cabo sólo con la cooperación de los agentes.

Además, el dinamismo del sistema se evidencia en el comportamiento del agente cuando éste cambia de un rol a otro dentro de su ciclo de vida.



**Capítulo 4. PROPUESTA Y  
EVALUACIÓN DEL  
MODELO EN LA  
EMPRESA CASO DE  
ESTUDIO**

En el capítulo anterior se llegó a un modelo general del proceso de planificación de la producción aplicable a cualquier empresa del sector productivo. En este capítulo se pretende llegar a un modelo particular como propuesta para el mejoramiento de la planificación en la empresa caso de estudio *Industria Licorera del Cauca*, para lo que se estudia la situación en la que se encuentra actualmente y posteriormente se hace la respectiva evaluación para comprobar su coherencia, cohesión, funcionalidad, factibilidad y la integración que se lograría al implementar este modelo.

#### **4.1. Planificación de la producción en la empresa caso de estudio.**

La empresa *Industria Licorera del Cauca*, es una empresa del Estado, ubicada en la ciudad de Popayán, y está dedicada a producir y comercializar licores de calidad para satisfacer a los clientes y consumidores. Específicamente se dedica a la preparación de aguardiente y posee una línea de envasado del mismo, por lo que el proceso de producción que se identifica en ella es en línea y continuo.

En esta empresa sólo se elabora el plan agregado y para ello se basa únicamente en la experiencia de su jefe de producción, además, no se sigue un proceso en particular para hacerlo. Durante el proceso de captura de información en la empresa, se tuvo la oportunidad de elaborar junto con su jefe de producción el plan de producción en el que se identificaron los siguientes aspectos:

En primer lugar la *Gerencia* envía un presupuesto y unos porcentajes de producción de cada presentación del aguardiente, con el cual el jefe de producción deberá elaborar el plan agregado. A continuación, con base en la experiencia previa del comportamiento del mercado, se identifican los periodos con menor demanda y en él se planifica el mantenimiento de los equipos.

En segundo lugar, de acuerdo con el comportamiento del mercado en el último año, se distribuye la producción de las diferentes presentaciones, buscando siempre impedir el exceso de inventario y la producción alternada de aguardiente en medias y aguardiente en garrafa.

Los materiales e insumos necesarios para la producción, como son: alcohol, esencias y los necesarios para el envasado (como los envases, etiquetas tapas etc.) los calcula el jefe de producción con base en el plan hecho anteriormente. Planifica y ordena su compra, de acuerdo con el tiempo que tardan éstos en ser despachados por el proveedor.

Para manipular la capacidad de producción, se pueden programar una o dos jornadas de producción y sólo se cuenta con el personal inicial de la empresa, que hace parte de un sindicato, por lo que no se permite contratar obreros del exterior o despedir a los existentes. De ser necesario, se programan vacaciones del personal en tiempo de baja demanda, o se destina a la producción de otros productos que se elaboran de forma artesanal.

Los procedimientos y secuencias de producción los administra el jefe de mantenimiento y se toman de los archivos de la empresa cada vez que se necesitan pero no se sigue un plan de implementación.

Durante el proceso de planificación, se pudo ver en la empresa que no se presenta una distinción entre Planificación y Programación de la Producción, por lo que se dificulta la evaluación del modelo en ella. Sin embargo, con el propósito de evaluarlo se elaboró una propuesta que se desarrolló con base en el diagrama de flujo, mostrado en la Figura 4.

## 4.2. Propuesta de modelado

### 4.2.1. Diagrama de flujo funcional del modelo propuesto

La empresa cuenta con una estructura organizacional establecida, por lo que se optó por manejar las áreas funcionales presentes, identificando en cuál de estas se encuentran los ámbitos establecidos en el primer diagrama.

**Tabla 20.** Confrontación entre áreas funcionales.

Ámbitos Empresa	Ámbitos del modelo
Gerencia	Planificación Empresarial (PE)
Control de Calidad	Calidad asistida por computador (CAQ)
	Diseño asistido por computador (CAD)
División administrativa	Contabilidad Industrial (CI)
División de Planeación	Almacén
División Comercial	Ventas
División Producción	Planificación de la Producción
	Programación y control de la producción (PPC)
	Conservación
	Control de Fabricación.
	Compras

**Fuente:** Elaboración propia, junio 2010

En la Tabla anterior, se muestra la confrontación entre las áreas funcionales de la empresa y los ámbitos del modelo. Adicionalmente, se propone la implementación de un departamento de *Compras*, dado que actualmente las compras las hace directamente el jefe de producción.

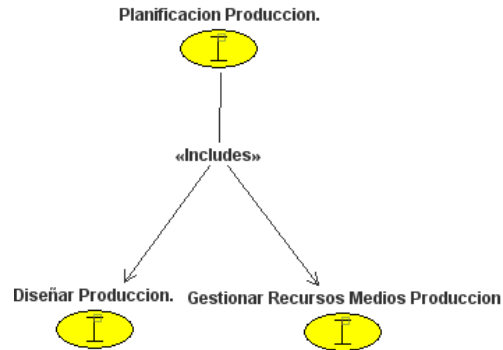
La *Industria Licorera del Cauca*, dada su condición de empresa pública, presenta inconvenientes para la inversión en medios de producción dado que el tiempo de gestión excede el periodo de planificación; por tanto, esta fase no se tiene en cuenta en el diseño de la producción. Por otro lado, sus productos no requieren ensamble por lo que la planificación del montaje no se hace. En la Figura 43, se muestra el diagrama resultante.

**Figura 43.** Diagrama funcional del ámbito planificación de la producción propuesto a la empresa caso de estudio

#### 4.2.2. Aplicación de la metodología INGENIAS al modelo propuesto.

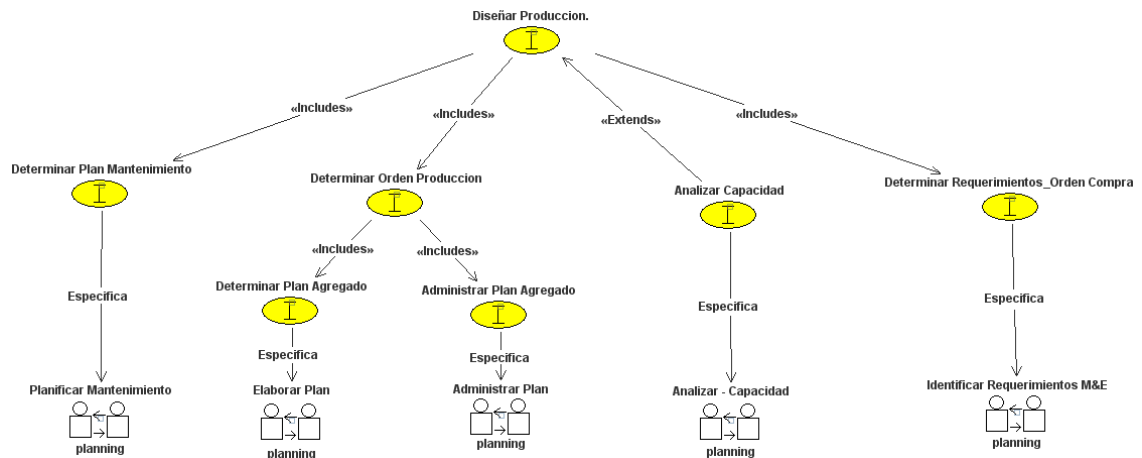
A continuación, se procede a la representación del modelo bajo la herramienta IDK aplicando la metodología INGENIAS. Al igual que en el capítulo 3, el modelado se inicia con los casos de uso identificando al final de su refinamiento las interacciones presentes en éstos. Al igual que para el modelo general, sólo se presentará el desarrollo para el proceso de diseño de la producción. El agente gestor se encuentra en el anexo III.

**Figura 44.** Casos de uso asociados a: *Planificación de la Producción.*



**Fuente:** Elaboración propia, junio 2010.

**Figura 45.** Casos de uso asociados a *Diseño de la Producción*



**Fuente:** Elaboración propia, junio 2010.

Como puede verse en la Figura 45, para el estudio de la capacidad sólo se generó un caso de uso, que es: el *Análisis de capacidad*.

Cada interacción al final del diagrama persigue un objetivo relacionado con el caso de uso asociado.

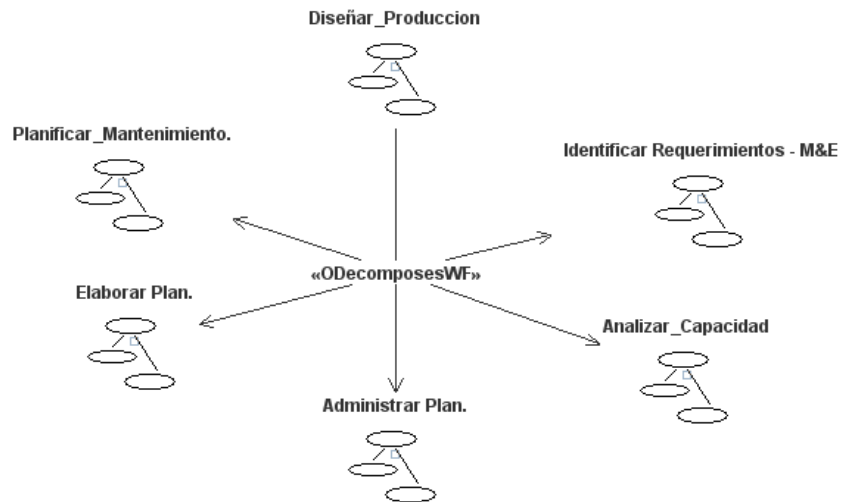
El modelo de organización identificado para la empresa se muestra en la siguiente figura y se aprecian en ellas las áreas funcionales presentes en la empresa.



El flujo de trabajo Diseñar la producción se descompone en (Ver Figura 48):

- Analizar capacidad
- Planificar mantenimiento
- Elaborar Plan
- Administrar Plan
- Identificar requerimientos de M&E

**Figura 48.**Descomposición de Flujo de Trabajo Diseñar Producción.



**Fuente:** Elaboración propia, junio 2010.

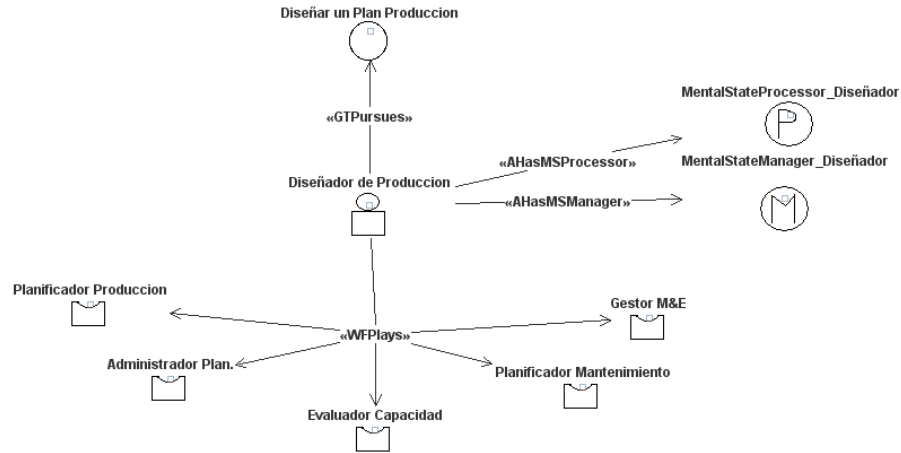
En el sistema se identifican tres agentes:

**Diseñador:** agente que desempeña roles de evaluar la capacidad, planificar el mantenimiento, planificar la producción, administrar el plan y gestionar las necesidades de M&E como se muestra en la Figura 49.

**Gestor:** encargado de la gestión y planificación de los medios de producción, secuencias y procesos de trabajo (ver anexo III) y

**Agente comunicador** encargado de comunicar los diferentes agentes del ámbito entre sí y con los agentes de los ámbitos externos. (Ver anexo III)

**Figura 49.** Modelo de Agente para el agente Diseñador de Producción.



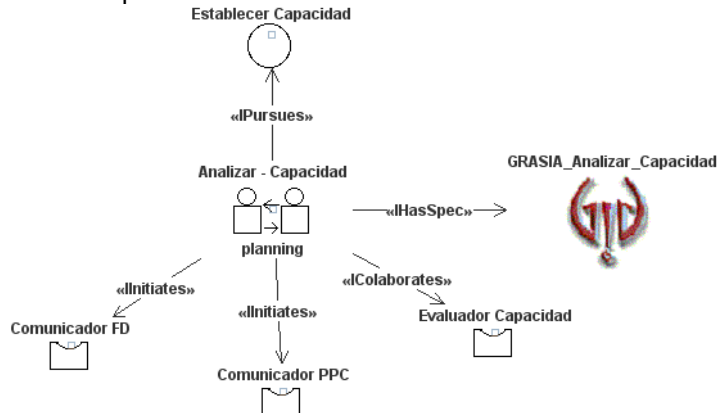
**Fuente:** Elaboración propia, junio 2010.

El proceso comienza cuando desde *Gerencia* se envía una *Solicitud del plan agregado* para el próximo horizonte de producción, a través del agente *Comunicador*, que ejecuta la tarea *Comunicar Gerencia* y envía al agente *Diseñador* la solicitud.

Esta señal inicia el flujo de trabajo *Analizar capacidad* y a partir de aquí el diseñador ejecuta la tarea *iniciar Análisis de capacidad* (ver Figura 51) que solicita a la división comercial el *Plan de ventas*, que reúne información acerca de cuál es el pronóstico de la demanda del mercado y los pedidos de clientes fijos, y solicita, además, el horizonte de planificación, es decir, el tiempo para el cual se hace el plan y los periodos en los cuales éste se debe dividir, ya sean meses, trimestres etc.

En este flujo de trabajo interviene el rol del agente comunicador: *Comunicador FD* que es quien inicia la interacción asociada a este flujo de trabajo y el *Comunicador PPC* que también puede iniciar la interacción en caso de que PPC haya rechazado el plan de producción, y el rol del agente *Diseñador*, *Evaluador Capacidad* quien colabora en el desarrollo de esta interacción.

**Figura 50.** Interacción para detallar la realización de caso de uso Analizar Capacidad.

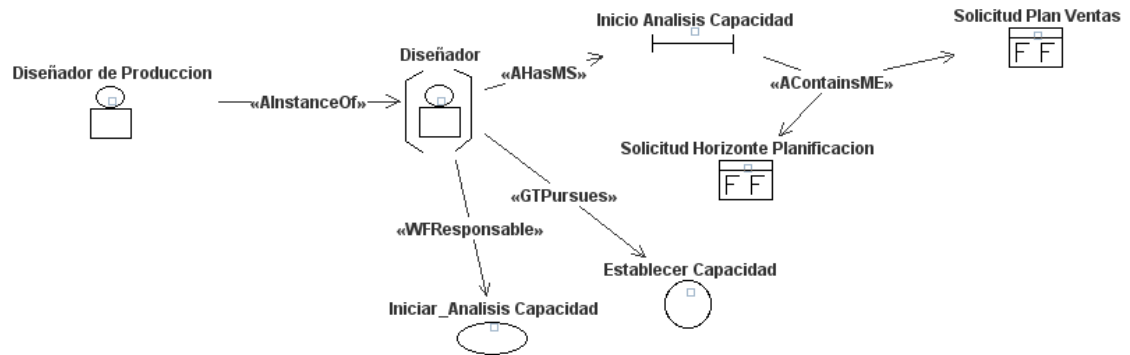


**Fuente:** Elaboración propia, junio 2010.



La cantidad de productos en el catálogo de la empresa es reducido y para su envasado se sigue la misma secuencia, pero los tiempos de producción que se manejan para cada presentación son diferentes por lo que, aunque se maneja una unidad agregada que es el litro, la planeación se hace en unidades<sup>7</sup>, por lo que se decide trabajar en unidades.

**Figura 51.**Agente ejecutor en su estado mental intermedio *Inicio Análisis Capacidad*

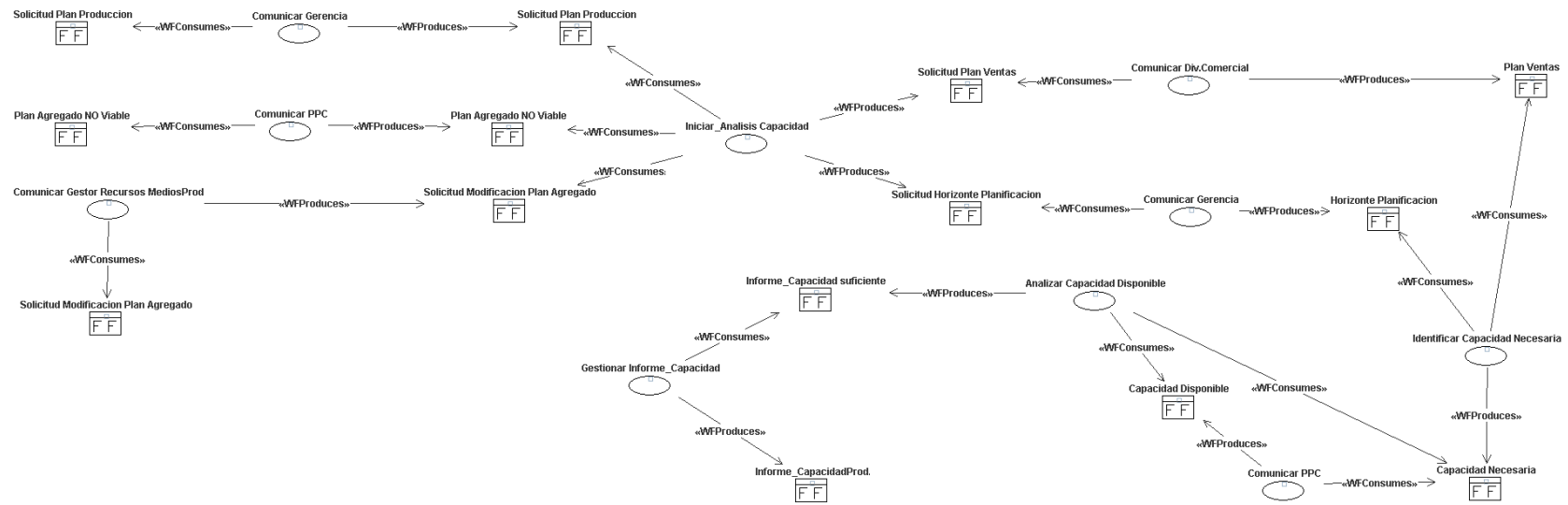


**Fuente:** Elaboración propia, junio 2010.

Como se ve en la Figura 52, el agente a continuación ejecuta la tarea *Identificar capacidad necesaria* y con ella solicita al ámbito PPC la *Capacidad disponible* para generar así el informe de capacidad con el que se diseñará el plan.

<sup>7</sup>Estas unidades hacen referencia a las diferentes presentaciones del aguardiente como son: Media verde, litro verde, garrafa, media azul y litro azul.

**Figura 52.** Descripción detallada del flujo: Analizar Capacidad

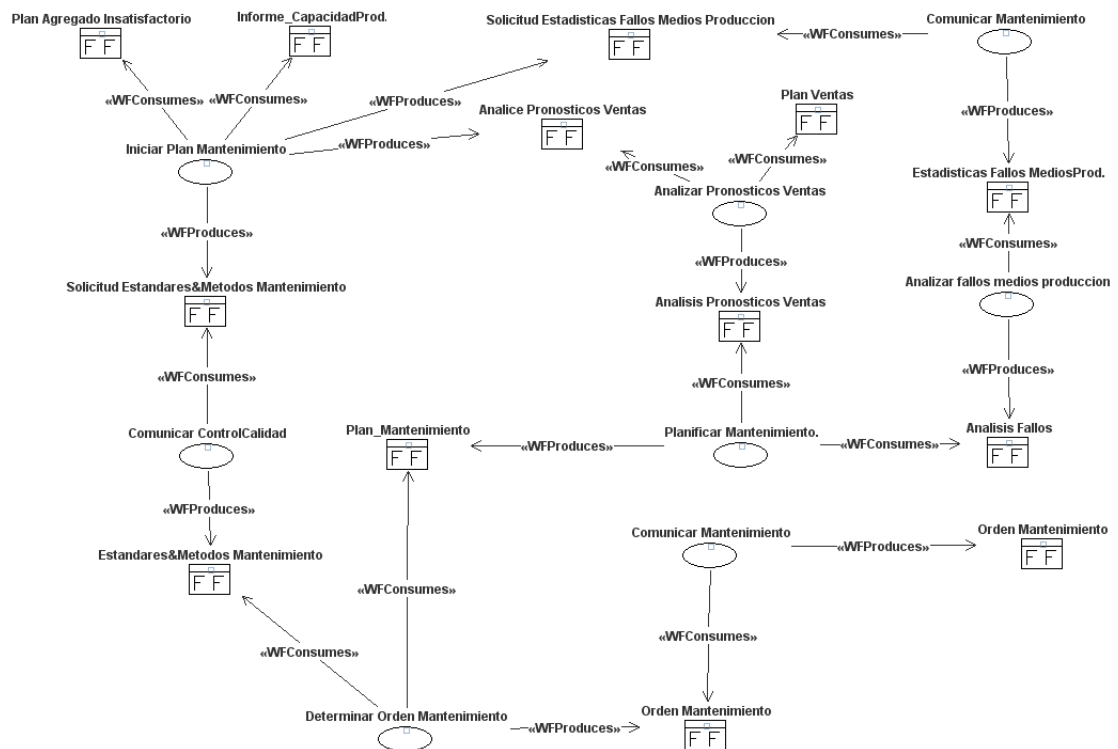


**Fuente:** Elaboración propia, junio 2010.

Habiendo ya analizado la capacidad, se da inicio al flujo de trabajo: *Planificar mantenimiento*, que se inicia con la tarea *Iniciar Plan de Mantenimiento*. Tarea que ordena el análisis del pronóstico de ventas para identificar los periodos de menor demanda, y luego, junto con las estadísticas de fallos, en la tarea *Planificar Mantenimiento*, elaborar el plan de mantenimiento. Finalmente, se determina la orden de mantenimiento con base en el plan, los estándares y métodos de mantenimiento (en la tarea *Determinar Orden de Mantenimiento*). La secuencia de tareas ejecutadas y la información consumida por cada una se puede ver en la Figura 53.

A continuación, el agente *Diseñador* cambia de rol al haber cumplido su objetivo y ahora pasa a jugar el rol *Planificador de la Producción*, cuyo objetivo es *Elaborar el plan agregado*. Para cumplirlo, el agente da inicio al flujo de trabajo: *Elaborar Plan*, al ejecutar la tarea *Iniciar Diseño Plan Agregado* (Figura 54), que toma como entrada el plan de mantenimiento, indicador de que ya se reservó el tiempo para elaborar dicho plan, y ordena la solicitud de costos a la *División Financiera y Administrativa*, así como la solicitud del presupuesto de costos de producción a *Gerencia*.

**Figura 53.** Descripción detallada del flujo: Planificar Mantenimiento.

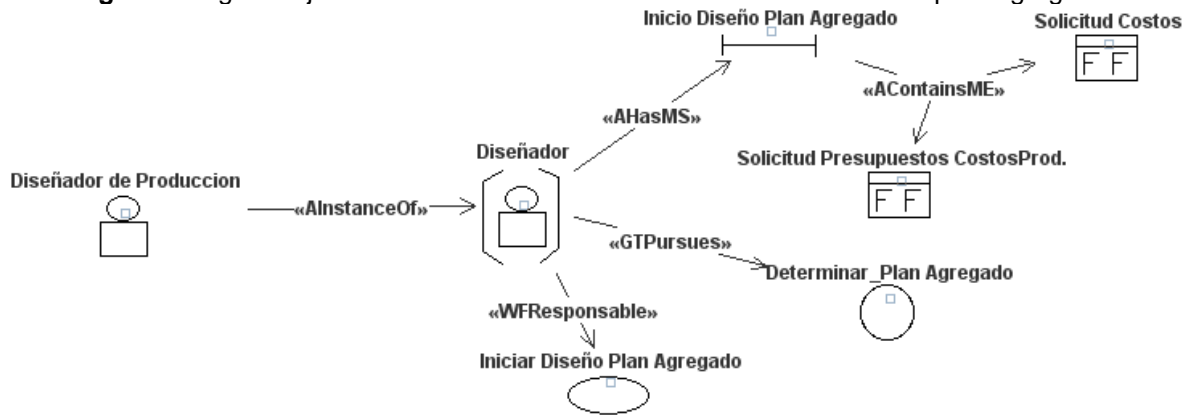


**Fuente:** Elaboración propia, junio 2010.

Para la elaboración del plan agregado, se ejecuta una única tarea que es *Diseñar Plan Agregado*. Es en esta tarea se evidencia en gran parte la inteligencia del agente, que mediante una red neuronal calcula el mejor plan, basándose en la capacidad de la

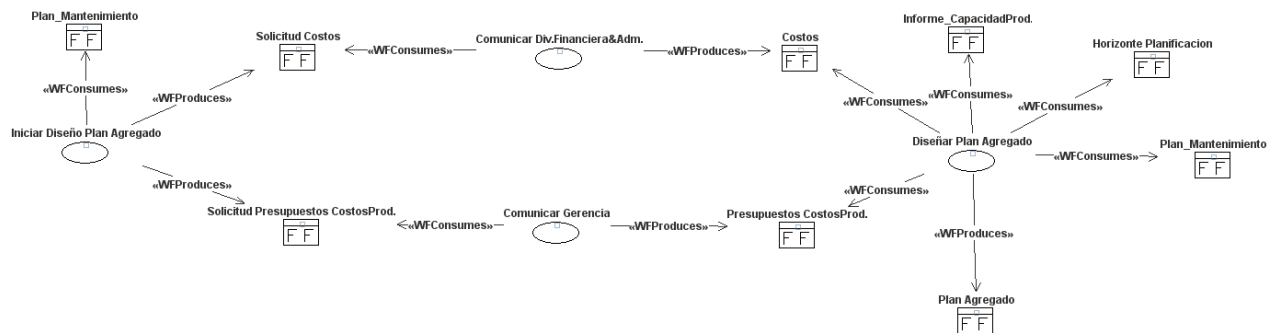
empresa, optimizando el costo de producción. Los datos de entrada y salida que considerar varían según la Tabla 4 del capítulo 1.

**Figura 54.**Agente ejecutor en su estado mental intermedio Inicio Diseño plan Agregado



**Fuente:** Elaboración propia, junio 2010.

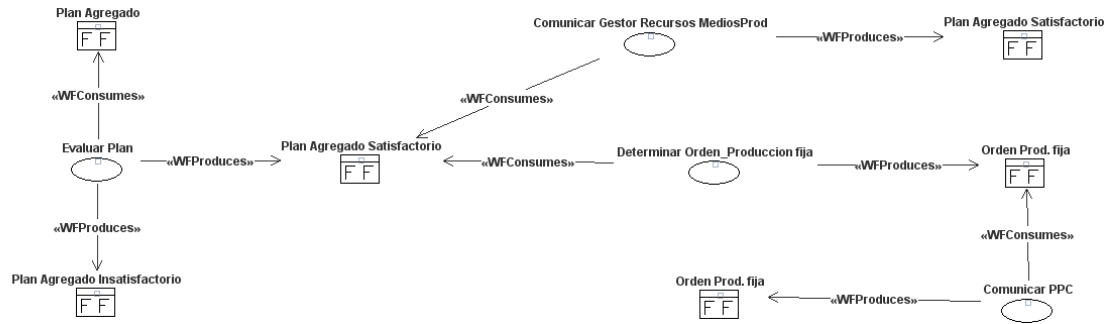
**Figura 55.**Descripción detallada del flujo: Elaborar Plan



**Fuente:** Elaboración propia, junio 2010.

Después de elaborado el plan, éste es evaluado por el jefe de producción o el encargado de la supervisión del plan, y de acuerdo con políticas de la empresa y otras situaciones aun no aprendidas por la red, este lo valora y se decide si aprobarlo o rechazarlo. Para esto, el agente ejecuta la tarea *Evaluar Plan* iniciando con ésta el flujo de trabajo *Administrar Plan*. (Figura 56)

**Figura 56.** Descripción detallada del flujo: Administrar Plan.

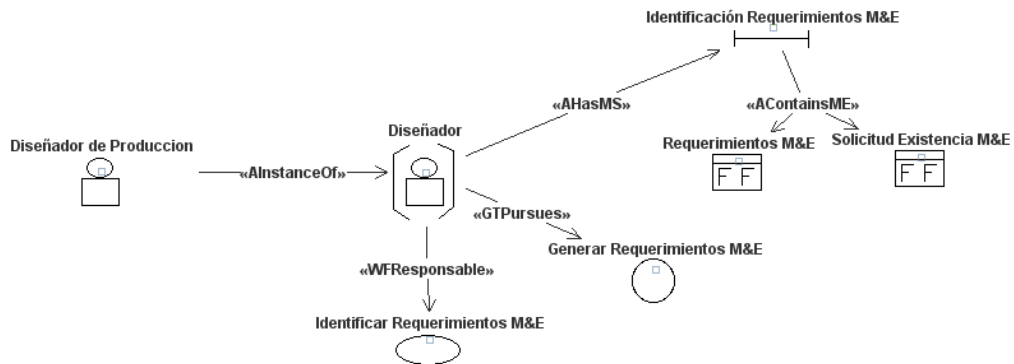


**Fuente:** Elaboración propia, junio 2010.

Si el plan es rechazado éste es devuelto a la red neuronal y se re-calcula. Si es satisfactorio, se envía al agente *Gestor* para que inicie con su trabajo de planeación del trabajo y, se determina la orden de producción para enviarla a PPC.

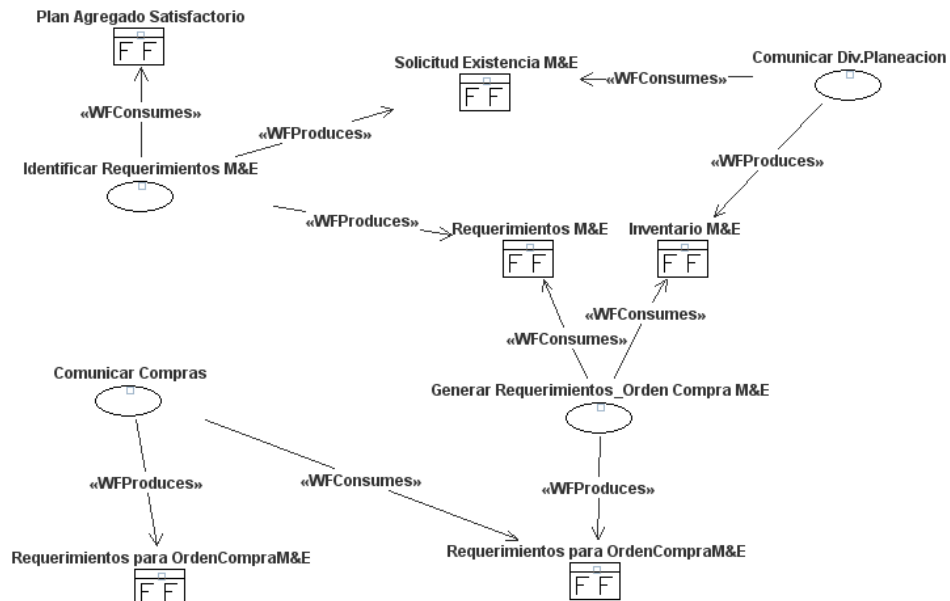
Dado por satisfecho el objetivo de *Administrar el plan*, es decir, que el plan fue aprobado y se ha enviado la orden de producción a PPC, se procede a planificar los materiales necesarios para cumplir con el plan de producción. Para esto, el agente asume el último rol que es *Gestor de M&E* e inicia la tarea *Identificar requerimientos de M&E* (Figura 57) y además solicita a la *División de Planeación*, el inventario disponible, y junto con los requerimientos de M&E, elabora la orden de compra para cada uno de los periodos de producción. (Figura 58)

**Figura 57.** Agente ejecutor en su estado mental intermedio Identificación Requerimientos M&E



**Fuente:** Elaboración propia, junio 2010.

**Figura 58.** Descripción detallada del flujo: Identificar Requerimientos M&E.



**Fuente:** Elaboración propia, junio 2010.

La satisfacción de los objetivos propuestos se consigue haciendo un seguimiento al gestor de estado mental. Esta satisfacción se logra al cumplirse cada uno de los objetivos asociados a las interacciones; en ese sentido, se puede verificar la funcionalidad al analizar el progreso del gestor de estado mental del agente, comprobando la correcta ejecución de las siguientes tareas:

- *Generar informe de capacidad:* que cumple con el objetivo *establecer capacidad*, es decir, proporcionar al siguiente al flujo *planificar mantenimiento* y al flujo *Elaborar plan* la capacidad con la que dispone la empresa para cumplir con el pronóstico de ventas de la empresa.
- *Determinar orden de mantenimiento:* con los estándares, métodos y planificación de mantenimiento se genera una hoja de ruta con la orden de mantenimiento que será enviada a conservación y con ésta se satisface el objetivo *Establecer Plan de Mantenimiento*.
- *Diseñar Plan Agregado:* se encarga de diseñar un plan agregado para un horizonte de planificación y cumplir con el objetivo *Determinar Plan Agregado*.
- *Determinar orden producción fija:* plasma en una hoja de ruta el plan agregado y los objetivos de costos de producción para ser enviados a PPC cumpliendo con el objetivo *Administrar plan*.
- *Generar Requerimientos orden de compra M&E:* identificados los requerimientos de M&E, se genera una orden de compra de los mismos y cumple con el objetivo *Generar requerimientos de M&E*.

Cumplidos estos objetivos se da por alcanzado el objetivo general del agente, *Diseñar un Plan de producción*, y a la vez se comprueba la funcionalidad del modelo.

El agente comunicador se modela de la misma manera como se hizo en el modelo general a excepción de las tareas que hacen referencia a la gestión de recursos de medios de producción y las de planificación del montaje. (Ver página 71)

### **4.3. Evaluación**

Se entiende por evaluación: el proceso de determinación del cumplimiento de: objetivos, características y criterios previamente establecidos. El propósito de evaluar el modelo dinámico del proceso de planificación de la producción en la empresa caso de estudio es: comprobar si se han conseguido los objetivos propuestos, identificados en las características que ofrecía el modelado con sistemas multi-agente. (Ver Tabla 21).

El desarrollo del proceso de evaluación se realiza de acuerdo con las siguientes etapas:

- Definición de Criterios
- Comprobación de características y
- Verificación del cumplimiento de los criterios

#### **4.3.1. Definición de Criterios:**

Para el proceso de evaluación se tendrán en cuenta los siguientes criterios:

- Coherencia: hace referencia a la relación lógica y adecuada de las partes que forman un todo. En este caso a la relación que existe entre los diferentes meta-modelos, y en la secuencia que se sigue en los diferentes flujos de trabajo.
- Cohesión: se interpreta como el grado de afinidad de las diferentes partes del modelo; en este caso, de cada una de las tareas que componen los flujos de trabajo, de manera que cada una se entienda en relación con las demás.
- Integración: según (Real academia española) se refiere a hacer que alguien o algo pase a formar parte de un todo. Para este caso los componentes de los meta-modelos y las tareas que hacen parte de los flujos de trabajo, que conforman el sistema multiagente.
- Factibilidad de aplicación: significa que puede ser hecho, que es posible llevarlo a cabo o que es realizable en la realidad y se espera que su resultado sea exitoso o satisfaga las necesidades, de acuerdo con su tipo de proceso productivo de la empresa y su condición actual.
- Funcionalidad: indica si el modelo cumple o no con los objetivos del proceso de la planificación de la producción y posee las características propias de los sistemas multi-agentes.

### 4.3.2. Comprobación de Características

En la siguiente tabla, se especifican las características de los agentes y SMA que cumple el modelo propuesto del ámbito planificación de la producción, logrando con esto comprobar su funcionalidad, y los modelos del SMA que permiten su desarrollo.

**Tabla 21.** Características de los SMA en el modelo dinámico de Planificación de la producción.

<b>AGENTES</b>		
<b>Propiedades</b>	<b>Descripción</b>	<b>Modelo Dinámico de Planificación de la producción.</b>
<i>Autonomía</i>	Los agentes son semiautónomos.	Modelo de Agente (Procesador y Gestor de Estado Mental)
<i>Sociabilidad</i>	El agente puede interactuar con otros agentes o usar aplicaciones.	Modelo de Interacción
<i>Racionalidad</i>	Los agentes actúan de acuerdo a objetivos ( <i>Principio de racionalidad</i> ).	Modelo de Objetivos & Tareas
<i>Reactividad</i>	Se evidencia claramente en el agente comunicador y en menor grado en los agentes Gestor y Diseñador.	Modelo de Entorno, Modelo Agente Comunicador.
<i>Pro-Actividad</i>	El agente sabe que tareas ejecutar de acuerdo sus objetivos.	Modelo de Objetivos & Tareas (Asociación de tareas y objetivos)
<i>Adaptabilidad</i>	El estado mental del agente evoluciona con el tiempo, lo cual incluye el aprendizaje entre las capacidades del agente (Red Neuronal).	Modelo de Agente (Procesador y Gestor de Estado Mental)
<i>Veracidad</i>	La ejecución de tareas únicamente produce los hechos asociados	Modelo Objetivos & Tareas (Hechos producidos y consumidos por una tarea)
<i>Benevolencia</i>	El agente interactúa con otros agentes para satisfacer el objetivo global si no está en contra de sus propios objetivos.	Modelo de Interacción y Modelo Objetivos & Tareas
<b>SISTEMA MULTIAGENTE</b>		
<i>Organización Social</i>	La organización está constituida por grupos, agentes, roles, aplicaciones y flujos de trabajo	Modelo de Organización (Estructura del Sistema)
<i>Cooperación</i>	Los agentes cooperan con otros agentes para lograr el objetivo de global de la organización	Modelo de Interacción
<i>Coordinación</i>	El flujo de trabajo coordina las tareas a realizar	Modelo de Organización (Flujos de Trabajo)
<i>Control</i>	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	Modelo de Agente (Estados Mentales, Procesador y Gestor de Estado Mental)

**Fuente:** Modelado del proceso de programación y control de la programación, 2010 [15].

### 4.3.3. Verificación de cumplimiento de Criterios.

En la siguiente Tabla se muestran los resultados de examinar el cumplimiento de los criterios de evaluación (establecidos anteriormente). Se menciona en qué parte del modelo se evidencia el cumplimiento de cada uno de los criterios, además de justificar la razón por la cual se cumplen.



**Tabla 22.** Proceso de Evaluación

CRITERIO	EVIDENCIA	JUSTIFICACIÓN	CUMPLE
<b>Coherencia</b>	Meta-modelos Flujos de trabajo Figuras 54, 55, 57, 58, 60	Cada meta-modelo desarrolla una característica del modelo, definiendo objetivos, tareas, responsables de ejecución, inteligencia, interacciones y comunicación, entorno de ejecución y organización de los componentes, así como secuencias y orden de ejecución.	Si
<b>Cohesión</b>	Modelo organización Flujos de trabajo Figuras 54, 55, 57, 58, 60	Las tareas y flujos de trabajo se ejecutan y se desarrollan de manera lógica dependiendo de los objetivos perseguidos y los hechos existentes, así como de las tareas y flujos que le preceden o continúan.	Si
<b>Integración</b>	Modelo organización Figuras 54, 55, 57, 58, 60 Agente comunicador (Ver página 71)	Se verifica con el cumplimiento de los dos criterios anteriores (coherencia y cohesión), a través del paso de mensajes entre las diferentes funciones internas presentes en los flujos de trabajo; además de la comunicación entre agentes por medio del comunicador.	Si
<b>Factibilidad de aplicación</b>	Análisis de la situación actual de la empresa. (Ver página 78)	La aplicación de este modelo en la empresa caso de estudio es factible dado que: tiene constituidas las áreas funcionales necesarias, actualmente se realiza planificación de la producción y existe información acerca de este proceso.	Si
<b>Funcionalidad</b>	Características de los agentes y SMA Tabla 21 Modelo de Agente (Gestor de estado mental).	Acatamiento de las características de los agentes y SMA en el modelo resultante y cumplimiento de los objetivos de los agentes en el modelo.	Si

**Fuente:** Elaboración propia, julio 2010.

A partir de la información presentada en la Tabla anterior se puede concluir que el modelo que resulto al aplicar la metodología INGENIAS sobre el modelo estructural funcional del ámbito planificación de la producción referido a la empresa caso de estudio cumple con los criterios de evaluación planteados, constatando que el modelo es aplicable y en realidad representa una clara ventaja para la empresa que lo implemente, además de permitir su integración con otros ámbitos funcionales.

En este capítulo se consigue elaborar una propuesta para la empresa *Industria Licorera del Cauca*, que propone un mejoramiento sustancial al proceso de planificación de la producción gracias a que permite mayor fluidez de la información involucrada en este proceso al elevar el nivel de integración presente en la misma; además de establecer vínculos comunicativos con las demás áreas funcionales de la empresa.

## CONCLUSIONES Y APORTES

La planificación de la producción por ser un ámbito del nivel de Dirección de Taller (según el modelo CIM) es un proceso que involucra conocimiento, deliberación, autonomía y aprendizaje sobre la experiencia. De acuerdo con esto, se puede decir que tanto el enfoque holónico como el de SMA es apropiado. Sin embargo, dado que en un sistema holónico esta autonomía y aprendizaje se basan en la cooperación de una holarquía y no de un holón en particular; se hace necesario modelar cada uno de los comportamientos individuales, así como establecer todas las posibles alternativas de cooperación, lo que tornaría el sistemas más complejo de lo que se requiere.

Modelar con SMA es complejo y difícil de interpretar, debido a que se deben identificar sus componentes como son: agentes, entorno, roles, tareas, objetivos, entre otros. Para modelar el ámbito planificación de la producción, se parte de un diagrama de flujo funcional que represente dicho ámbito porque en éste se establecen las actividades y secuencias de funcionamiento, además de identificar las independencias entre una actividad y otra, y los flujos de información que existen con otros ámbitos funcionales, lo que permite detectar los agentes más fácilmente, identificar los objetivos globales y específicos que se persiguen y las interacciones que se tendrán con otros agentes del sistema, por lo que comenzar representando el ámbito en estudio, en un diagrama de flujo, hace más sencillo el modelado con SMA.

La metodología INGENIAS dado su nivel de detalle, se torna en primera instancia compleja y de difícil aplicación, por lo que se propone una alternativa de pasos por seguir para obtener el modelo en forma de un diagrama de flujo en el tiempo. Cabe aclarar que aunque se haya establecido esta secuencia a medida que se avanza en el desarrollo del modelo, pueden ir apareciendo nuevas instancias, tareas o, incluso, definirse nuevos agentes; por lo que el desarrollo del modelado como lo propone INGENIAS continúa siendo iterativo.

La empresa *Industria Licorera del Cauca* presenta: primero, pocas actividades en el proceso de planificación de la producción y las que tiene no están bien diferenciadas; y segundo, ya tiene una estructura administrativa constituida, pero de forma diferente a la planteada en este modelo. Por esto, se propone un diagrama de flujo funcional del ámbito planificación de la producción identificando por una parte las áreas funcionales que intervienen en este proceso y por otra, las funciones y sub-funciones que hacen parte de éste para su posterior evaluación.

El diagrama de flujo funcional propuesto en este trabajo es un aporte, ya que establece la secuencia de actividades involucradas en el proceso de planificación de la producción, así como los flujos de información que van desde y hacia otros ámbitos, además de establecer el orden de ejecución en el tiempo lo que garantiza fluidez en su ejecución.

El modelo dinámico general, representado mediante la metodología INGENIAS, así como la propuesta de implementación a la *Industria Licorera del Cauca* son el principal aporte de este proyecto en el área de automatización industrial, ya que permite apreciar el

dinamismo presente en la planificación de la producción y dota a este ámbito de capacidades de reacción y reconfiguración, para cumplir con tareas específicas del proceso productivo, dando un paso hacia el proceso de integración empresarial.

A través de la evaluación realizada sobre el modelo, se logró establecer el cumplimiento de los objetivos del proyecto, además de evidenciar la ventaja que conlleva aplicar dicho modelo en una empresa del sector productivo al proveerla de un sistema capaz de responder a las necesidades de planificación de la producción que está presente, agregando flexibilidad, organización y, lo más importante, permitiendo la integración de este ámbito con las demás áreas funcionales de la empresa.

La metodología seguida en el desarrollo de este proyecto resultó conveniente y de gran ayuda ya que en cada una de sus etapas se obtuvo información de vital importancia para el desarrollo de la actividad siguiente, y en general para el modelado del proceso de planificación de la producción como un sistema dinámico, lo que permitió alcanzar con gran éxito los objetivos propuestos en este proyecto.

Como trabajos futuros se podrían modelar los demás ámbitos funcionales de la empresa como son: diseño, ventas, compras, conservación, almacén, entre otros, y junto con el desarrollado en este proyecto generar un modelo dinámico de integración empresarial. Y finalmente con base en el modelo presentado, desarrollar la fase de implementación software, ya sea en una plataforma JADE o en la Herramienta propuesta por ZEUS, según el programador lo disponga.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1]. ABARCA ÁLVAREZ Antonio. SISTEMA PARA EL CONTROL DE STOCK DE ALMACÉN BASADO EN IDENTIFICACIÓN POR RADIO FRECUENCIA. [Tesis de Doctorado] Universidad de Castilla. 2010. Páginas 56,57.
- [2]. BAUMGARTHER Horts. KNISCHEWSKI Klaus. WIEDIG Harald. CIMCONSIDERACIONES BÁSICAS. Siemens Aktiengesellschaft & Marcombo, Barcelona, 1991.
- [3]. GÓMEZ, Diana Consuelo; MANQUILLO, Carlos Enrique. ADECUACIÓN DEL MODELO SIEMENS A LAS NORMAS ISA S88 E ISA S95 CON APLICACIÓN ILUSTRATIVA A UN CASO DE ESTUDIO. [Tesis de Pregrado]. Universidad del Cauca. Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones; 2007.
- [4]. DOMÍNGUEZ MACHUCA, José A. Dirección de Operaciones: Aspectos Tácticos y Operativos en la Producción y los Servicios. Madrid; España: McGraw-Hill, 1995, Páginas 67, 68, 69, 71
- [5]. GARCÍA P Fernando. INTEGRACIÓN DE SOFTWARESCAD/CAPP/CAE PARA EL DISEÑO Y PLANEACIÓN DE PROCESOS DE PRODUCCIÓN DE RECIPIENTES A PRESIÓN. [Tesis de Maestría]. México 2005
- [6]. FUNDAMENTOS DE MANUFACTURA MODERNA, Groover, Mikell P., México, 2000.
- [7]. BOTTI NAVARRO Vicente. GIRETBOGGINO Adriana. APLICACIONES INDUSTRIALES DE LOS SISTEMAS MULTI-AGENTE. Universidad Politécnica de Valencia. Páginas 2, 6.
- [8]. GANDRA DE SAUSA Paulo Alexandre. AGENTES INTELIGENTES EM SISTEMAS HOLÓNICOS DE PRODUÇÃO. Universidad de Minho, 2000.
- [9]. QUINTERO URIBE Paulo Cesar. COMPARACIÓN DE METODOLOGÍAS Y ARQUITECTURAS DE SISTEMA MULTI-AGENTE ENCONTRADAS EN 10 APLICACIONES UTILIZADAS EN MEDICINA Y SERVICIOS DE E-SALUD. Colombia. Universidad Católica de Colombia. 2009. Páginas 16.
- [10]. ALEXANDERESGARCÍA María Guadalupe. ARQUITECTURA TOLERANTE A FALLOS MEDIANTE UN SISTEMA MULTIAGENTE PARA EL SISTEMA DE CONTROL DE UN ROBOT MOVIL. Universidad Politécnica de Valencia. 2007. Páginas 33.
- [11]. GÓMEZGASQUET Pedro. GRACIA SABATER José Pedro. APLICACIÓN DEL MODELADO DE SISTEMAS MULTI-AGENTE AL PROBLEMA DE LA PROGRAMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN EN LA INDUSTRIA CERÁMICA. Universidad Politécnica de Valencia. 2005. Páginas 5.

- [12]. QUINTERO Alejandro. RUEDA RODRÍGUEZ Sandra. UCROS María Eugenia. AGENTES Y SISTEMAS MULTI-AGENTES: INTEGRACIÓN DE CONCEPTOS BÁSICOS. Colombia. Universidad de los Andes.
- [13]. GARCÍA SERRANO Ana. OSSOWSKY Sascha. INTELIGENCIA ARTIFICIAL DISTRIBUIDA Y SISTEMAS MULTI-AGENTE. España. Universidad Politécnica de Madrid. Universidad Juan Carlos de Madrid. 2007. Páginas 19, 20.
- [14]. CAMACHO, Julia. ESTUDIO DEL USO DE SISTEMAS MULTIAGENTES PARA EL MODELADO DEL TRÁFICO DE AUTOS. [Tesis de Pregrado]. Universidad de Los Andes; 2008.
- [15]. MORA Vanessa. MOSQUERA Jairo. MODELADO DEL PROCESO DE PROGRAMACIÓN Y CONTROL DE LA PRODUCCIÓN. Universidad del Cauca, 2010. Páginas 25.
- [16]. GÓMEZ SANZ Jorge J. MODELADO DE SISTEMAS MULTI-AGENTE. Universidad de Complutense de Madrid. 2002.
- [17]. GÓMEZ SANZ Jorge J. METODOLOGÍAS PARA EL DESARROLLO DE SISTEMAS MULTI-AGENTE. Universidad de Complutense. 2008. Páginas 4.
- [18]. IGLESIAS FERNÁNDEZ Carlos Ángel. DEFINICIÓN DE UNA METODOLOGÍA PARA EL DESARROLLO DE SISTEMAS MULTI-AGENTE. Universidad Politécnica de Madrid. 2008. Páginas 322.
- [19]. GALLEGO DURAN Francisco José. LLORENS LARGO Faraón. RIZO ALDEGUER Ramón. BREVE ANÁLISIS DE ALGUNAS METODOLOGÍAS DE DISEÑO DE SMA. Universidad de Alicante. 2004. Páginas 9.
- [20]. PÉREZ ARDILA Yanis Stanley. APLICACIÓN DE METODOLOGÍAS INGENIAS, ZEUS, MASINA AL DESARROLLO DE SISTEMAS MULTI-AGENTE, PARTIENDO DE SMA DE SUBASTAS PARA LA IDENTIFICACIÓN DE MEJORES PRACTICAS. Universidad de Pamplona. 2007. Páginas 194.
- [21]. CATILLO CHAMORRO José Miguel. METODOLOGÍA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE MODELOS MULTI-AGENTE EN ENTORNOS DE PLANIFICACIÓN. Universidad Rey Juan Carlos de Madrid. 2007. Páginas 86.
- [22]. PARDO CASTILLO Alexandra. AVENDAÑO GALINDO Diana Marcela. METODOLOGÍAS DE DISEÑO Y DESARROLLO PARA AGENTES Y SISTEMAS MULTI-AGENTE. Universidad Católica de Colombia. 2009. Páginas 102.
- [23]. ESPINOSA REYNOSO Miguel Ángel. DISEÑO DE SISTEMAS MULTI-AGENTE. Universidad Autónoma de Puebla. 2006. Páginas 23.