

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
DEPARTAMENT DE PROJECTES D'ENGINYERIA

TESIS DOCTORAL

Contribución a la Representación y Generación
de Planes con Incertidumbre.

Enrique Paniagua Arís
Barcelona, Enero de 1998

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
DEPARTAMENT DE PROJECTES D'ENGINYERIA

TESIS DOCTORAL

**Contribución a la Representación y Generación
de Planes con Incertidumbre.**

Barcelona, Enero de 1998

Memoria presentada por **Enrique Paniagua Arís** para optar al título de Doctor Ingeniero Industrial por la Universitat Politècnica de Catalunya bajo la dirección del Dr. **Antoni Creus i Solé** (Dpt. Projectes d'Enginyeria). El trabajo contenido en esta memoria ha sido realizado en el Departament de Projectes d'Enginyeria de la Universitat Politècnica de Catalunya.

A mi hija Ariadna.

Resumen

Planificación de Desarrollo Cooperativo (PDC) es un modelo de planificación de Proyectos de Cooperación y Desarrollo, implementado en el ONGIA, una prototipo de Inteligencia Artificial para el estudio predictivo de Proyectos de Desarrollo.

Los Proyectos de Cooperación y Desarrollo realizados por las ONGDs (Organizaciones No Gubernamentales de Desarrollo) estan marcados por un alto grado de incertidumbre, debido por una parte, a la multiplicidad de intereses de los diferentes agentes que intervienen en la definición y ejecución del proyecto, así como a la naturaleza dinámica del contexto (entorno) que convive con la evolución del proyecto, por la otra. Es por este motivo que se propone el modelo de Planificación de Desarrollo Cooperativo, para la simulación de las fases: *Identificación de los Problemas*, *Definición de los Objetivos*, *Generación de los Planes Alternativos* y *Viabilidad de los Planes*, que nos permitirá consensuar a los distintos agentes que intervienen a lo largo del desarrollo de un Proyecto de Cooperación y Desarrollo.

ONGIA está basado en una arquitectura de agentes distribuidos. Cada agente dispone de un conocimiento especializado (el específico de cada grupo de usuarios del proyecto); una lógica común a todo el grupo de agentes (un álgebra de valores de verdad que parte de los conjuntos borrosos); y un conjunto de metareglas de control. El mecanismo de consenso en la definición del problema y objetivos en el ONGIA se basa en la teoría de los *Sistemas de Argumentación* y la de los *Sistemas Multicontexto*. El modelo para consensuar a los diferentes agentes en la definición de los planes abstractos alternativos utiliza la función de *Beneficio Conjunto* para llegar al compromiso entre los distintos ejecutores del plan abstracto. La técnica utilizada para controlar el problema de la cualificación se basa en una *Ordenación Aproximada Priorizada*. Finalmente, el modelo para simular la ejecución de cada plan abstracto se basa en la teoría de las *Situaciones Posibles* y en la de la *Entropía Termodinámica* para describir la posible evolución del plan.

Agradecimientos

Primero quiero dar las gracias a mi director de tesis Antoni Creus (Dpt. de Projectes d'Enginyeria de la UPC), quien me ha dado soporte en todo el desarrollo del proyecto.

Quiero agradecer a Carlos Sierra (Institut d'Investigació en Intel·ligència Artificial del CSIC) las gratas conversaciones sobre Lisp y Agentes Colaborativos, y a Ton Sales (Dpt.de Llenguatges i Sistemes Informàtics de la UPC) las interesantes discusiones sobre Lógica.

Finalmente, debo agradecer la intensa colaboración y tantas constructivas ideas a Llorenç Valverde (Dpt. de Ciències Matemàtiques i Informàtica de la UIB) en cada uno de los puntos del trabajo. Sin su apoyo y constante empuje esta tesis no hubiera sido posible.

Índice

Lista de Figuras	vii
Lista de Tablas	ix
Capítulo 1 Introducción	1
1.1 Motivación	1
1.1.1 Viabilidad de Proyectos de Desarrollo	2
1.2 Los Problemas de la Planificación de Desarrollo	3
1.2.1 Modelizar el conocimiento común e individual en un grupo de agentes.	3
1.2.2 Modelizar el consenso en el grupo de agentes	3
1.2.3 Evitar el problema de la cualificación	4
1.2.4 Preveer la tendencia del contexto	5
1.3 Objetivo	5
1.4 Modelo Conceptual	6
1.4.1 Planificación de Desarrollo Cooperativo	6
1.4.2 Agentes Distribuidos y Conocimiento	8
1.4.3 Agentes Sociales y Consenso	9
1.4.4 Cualificación Priorizada	11
1.4.5 Situaciones Posibles y Entropía	12
1.5 Trabajo relacionado	13
1.6 ONGIA	15
1.7 Principales Contribuciones	15
1.8 Estructura de la Tesis	18
Capítulo 2 Proyectos de Desarrollo	20
2.1 Introducción	20
2.1.1 Los actores	20
2.1.2 Fases del Proyecto de Desarrollo	23
2.2 Metodologías de planificación en Proyectos de Desarrollo	25
2.2.1 EML. Enfoque del Marco Lógico	25
2.2.2 ZOPP. Planificación Orientada a Objetivos	28
2.3 Problemas con las metodologías existentes	31
2.3.1 Problemas de la identificación de los problemas	31
2.3.2 Problemas de la definición de objetivos	34
2.3.3 Problemas de la generación de soluciones alternativas	35

2.3.4	Problemas de la viabilidad de las soluciones	37
2.4	Conclusiones	38
Capítulo 3 Conocimiento Cooperativo		39
3.1	Introducción	40
3.2	Antecedentes	41
3.2.1	Agentes Inteligentes	42
3.2.2	Mundos Posibles	43
3.2.3	Teoría del Contexto	45
3.3	Conocimiento Cooperativo	48
3.3.1	Razonamiento Local	48
3.3.2	Razonamiento Distribuido	53
3.3.3	Razonamiento Colaborativo	54
3.3.4	Problema Existente y Motivación	55
3.3.5	Tipos de Causas	55
3.3.6	Comportamiento Social	56
3.4	La Identificación de los Problemas (Ejemplo)	60
3.4.1	Identificación de los Agentes	60
3.4.2	Definición de las Teorías	61
3.4.3	Identificación de los Problemas Existentes	63
3.4.4	Búsqueda de las Causas	64
3.4.5	Estrategia Social del Grupo	72
3.5	Conclusiones	74
Capítulo 4 Planificación Cooperativa		76
4.1	Introducción	77
4.2	Antecedentes	77
4.2.1	Pro-Aptitudes de Agentes Inteligentes	78
4.2.2	Resolución Cooperativa de Problemas	79
4.2.3	Agentes Sociales	81
4.2.4	Planificación Abstracta Parcial	83
4.2.4.1	Cálculo de Situaciones	83
4.2.4.2	Sistema STRIPS	85
4.2.4.3	Planificación Abstracta (Jerárquica)	86
4.2.4.4	Planificación Parcial	87
4.3	Proceso de Planificación Cooperativa	89
4.3.1	Objetivo Persistente	89
4.3.2	Oportunidad de Cooperación	90
4.3.3	Coste/Beneficio Conjunto	91
4.3.4	Acuerdo y Compromiso en el Grupo de Agentes	93

4.3.5	Convenio del Plan Abstracto	93
4.3.6	Planes Abstractos	94
4.4	La Definición de los Objetivos (Ejemplo)	98
4.4.1	Obtención de los Objetivos a partir de los Problemas	98
4.5	La Generación de Planes Alternativos (Ejemplo)	100
4.5.1	Definición del Conocimiento de Planificación	100
4.5.2	Generación de los Planes	103
4.5.3	Acuerdos y Compromisos de los Planes	109
4.5.4	Convenios de los Compromisos	111
4.6	Conclusiones	111
 Capítulo 5 Cualificación Priorizada y Evolución del Contexto		113
5.1	Introducción	114
5.2	Antecedentes	115
5.2.1	Situaciones y Acciones	116
5.2.2	Mundos Posibles	118
5.2.3	Adecuación de Teorías	120
5.2.4	Modelos Estocásticos en Planificación con Incertidumbre	121
5.2.5	Planificación con Contingencias	122
5.2.6	Cualificación y Causalidad	123
5.3	Cualificación Priorizada	124
5.3.1	Ejemplo de Aplicación	124
5.3.2	Tipos de Incertidumbre e Imprecisión	127
5.3.3	Acciones	129
5.4	Tendencia del Contexto	130
5.4.1	Modelos de Contextos	131
5.4.2	Estrategia de Decisión	133
5.5	La Descomposición de los Planes Abstractos (Ejemplo)	136
5.5.1	Definición de las Acciones	136
5.5.2	Descomposición de las Tareas	145
5.6	La Evolución del Contexto en los Planes (Ejemplo)	147
5.6.1	Situación Tendente de una Acción	147
5.6.2	Estrategia de Selección entre las distintas Acciones	148
5.6.3	El Plan (Total/Parcial) más Viable	154
5.6.4	Planes Detallados	155
5.7	Conclusiones	156
 Capítulo 6 ONGIA		158
6.1	Introducción	159
6.2	Antecedentes	159

6.3	Planificación de Desarrollo Cooperativo	159
6.3.1	Elementos	159
6.3.1.1	Mundo e Historias	159
6.3.1.2	Situaciones Posibles y Hechos	160
6.3.1.3	Agentes y Grupo de Agentes	161
6.3.1.4	Problemas	162
6.3.2	Identificación de los Problemas	163
6.3.2.1	Agente y Conocimiento de Contexto	163
6.3.2.2	Agente y Conocimiento Social	163
6.3.2.3	Problema y Argumentación	164
6.3.2.4	Conocimiento Social y Problemas Centrales	167
6.3.3	Generación de Planes Alternativos	167
6.3.3.1	Problema y Objetivo	167
6.3.3.2	Problema y Plan	169
6.3.3.3	Tarea	169
6.3.3.4	Proceso de Planificación	170
6.3.3.5	Oportunidad de Cooperación	170
6.3.3.6	Conocimiento Social y Planes Alternativos	171
6.3.4	Viabilidad de los Planes	172
6.3.4.1	Plan Detallado, Acción y Comportamiento	172
6.3.4.2	Precondiciones y Amenazas Posibles	173
6.3.4.3	Agente y Conocimiento de Planificación	174
6.3.4.4	Condiciones de Ejecución y Amenazas de Ejecución	175
6.3.4.5	Situaciones Posibles y Entropía	176
6.3.4.6	Proceso de Cálculo de Viabilidad	177
6.4	Conclusiones	179
Capítulo 7 Conclusiones		180
7.1	Aportaciones de la PDC	180
7.1.1	Los Problemas	180
7.1.2	Los Modelos Solución	181
7.1.3	Los Resultados	182
7.1.4	Las Ontologías Actuales	184
7.2	Ventajas para el Usuario	185
7.3	Inconvenientes para el Usuario	185
7.4	Futuras Líneas de Trabajo	186
Bibliografía		187
Anexo A Metodología de Planificación de Desarrollo Cooperativo		195

A.1	Análisis de la Participación	197
A.2	Identificación de Problemas	198
A.3	Definición de Objetivos	199
A.4	Generación de Planes Alternativos	200
A.5	Cálculo de Viabilidad	201
A.5.1	Planificación Detallada	202
A.5.2	Cualificación Priorizada	203
A.5.3	Tendencia del Contexto en Situaciones Posibles	203
A.5.4	Estrategia de Planificación	204
A.6	Evaluación del Impacto	205
Anexo B Tests utilizados por ONGDs de ámbito local		208
B.1	Las ONGDs	208
B.2	El Método EML	209
B.3	Las Guías de Identificación	210
B.4	Documentación	210

Lista de Figuras

1.1	Los problemas en la planificación de Proyectos de Desarrollo	5
1.2	Esquema general de la Planificación de Desarrollo Cooperativo	6
1.3	Identificación entre dos agentes de las causas de los subproblemas	8
1.4	Proceso de consenso en el grupo de agentes.....	9
1.5	Los conceptos de la planificación jerárquica	10
1.6	Resolución de amenazas	11
2.1	Los actores del proyecto	21
2.2	Fases de un proyecto de desarrollo	24
2.3	Los elementos y relaciones causales del EML	25
2.4	El problema central como causa común	32
2.5	El problema central mediante unión de causas particulares	32
2.6	El problema central mediante colaboración de teorías	32
2.7	Generación cooperativa de soluciones alternativas	35
3.1	Grafo de Situaciones Posibles.....	43
3.2	Agente real vs. agente ideal	46
3.3	Relación entre el contexto y la conceptualización de un agente.....	48
3.4	Adecuaciones entre el contexto, cuerpo de conocimiento y la conceptualización de un agente.....	51
3.5	Razonamiento Distribuido en el grupo de agentes GA.....	53
3.6	Razonamiento Colaborativo en el grupo de agentes GA	54
3.7	Relación entre Problema Existente y Motivación.....	55
4.1	Regla semántica de la variable lingüística Num_Accidentes	89
4.2	Proceso de Planificación Cooperativa	93
4.3	Relaciones entre planes abstractos y planes detallados	95
4.4	Estructura de un plan abstracto	96
4.5	Objetivo de Num_Accidentes	98
4.6	Objetivo de Antigüedad_Autobuses	98
4.7	Objetivo de Vehiculos_en_Circulacion.....	98
4.8	Objetivo de Capacidad_Hospitales	99
4.9	Plan solución PLAN1 del problema central PC1.....	105
5.1	Relación entre intento, ejecución, efectos y efectos laterales de una acción.....	128
5.2	Relación entre situación, contexto y acción.....	129
5.3	Efectos posibles del intento y ejecución de una acción	132
5.4	Relación entre los agentes, recursos y energía interna del sistema.....	134
5.5	Comportamiento del sistema.....	134
6.1	Historias y Situaciones Posibles	159

6.2 Situación Posible	159
6.3 Estructura Jerárquica de Agentes	160
6.4 Jerarquía de Agentes en la PDC.....	161
6.5 Problema Existente y Motivación de un Agente.....	161
6.6 Conocimiento de Contexto de un Agente	162
6.7 Argumentación de un Problema Existente.....	164
6.8 Argumentaciones de distintos Problemas Existentes	164
6.9 Función Semántica de Num-Accidentes	167
6.10 Estructura de Plan	168
6.11 Estructura de Plan Abstracto	168
6.12 Fases de una Tarea	169
6.13 Comportamientos de una Acción	172
6.14 Etapas de un Comportamiento	172
6.15 Etapa de Intento de un Comportamiento	172
6.16 Conocimiento de Planificación de un Agente.....	174
6.17 Etapa de Ejecución de un Comportamiento	174
6.18 Situación más Probable tras la Ejecución de un Comportamiento	176
6.19 Proceso de Planificación	177
A.1 Modelo de Planificación de Desarrollo Cooperativo II	195
A.2 Proceso de Análisis de la Participación	196
A.3 Proceso de Identificación de Problemas	197
A.4 Proceso de Definición de Objetivos.....	199
A.5 Proceso de Generación de Planes Alternativos.....	200
A.6 Proceso de Planificación Detallada.....	201
A.7 Tendencia del Contexto.....	203
A.8 Proceso de Evaluación del Impacto	205
A.9 Los Modelos EML, ZOPP y PDC	206

Lista de Tablas

2.1	Conceptos del EML y el ZOPP en el análisis	30
2.2	Tabla de verdad de $A \rightarrow B$	34
2.3	Las aportaciones de la Planificación de Desarrollo Cooperativo	37
3.1	Analogía nomenclaturas EML y PDC (I)	40
3.2	Aptitudes de un Agente Inteligente.....	41
3.3	Actitudes en la Resolución Cooperativa de Problemas	56
3.4	Evaluación de la función de Acuerdo	58
3.5	Clasificación de las actitudes sociales	58
3.6	Acuerdo del problema central “Número de Accidentes”	72
3.7	Acuerdo del problema central “Antigüedad Autobuses”	72
3.8	Acuerdo del problema central “Vehículos en Circulación”	73
3.9	Acuerdo del problema central “No Capacidad en Hospitales”	73
4.1	Conceptos del EML y el PDC en el análisis (II).....	77
4.2	El Nivel Social de un agente.....	81
4.3	Clases de acciones en una sociedad responsable	82
4.4	Cronología de las diferentes propuestas en Planificación Clásica.....	82
4.5	Beneficio Conjunto del agente y el grupo al realizar una acción	91
4.6	Acuerdo del plan PLAN1.....	109
4.7	Acuerdo PLAN2	109
4.8	Acuerdo PLAN3	109
4.9	Acuerdo PLAN4	109
4.10	Acuerdo PLAN5	109
4.11	Acuerdo PLAN6	109
5.1	Conceptos del EML y PDC en el análisis (III).....	114
6.1	Función de Acuerdo Social	163

Capítulo 1

Introducción

Para introducir el contenido de la presente tesis es necesario hablar primero del problema que queremos resolver y del tipo de solución que proponemos. Es muy importante fijar el tipo de problema, así como qué clase de soluciones estaremos dispuestos a aceptar, es decir, las limitaciones prefijadas sobre el alcance de la tesis. En el presente capítulo se presenta a grandes rasgos el problema, objetivo, objeto y principales contribuciones de la tesis.

1.1 Motivación

Las personas siempre han luchado contra la indeterminación impuesta por el entorno y el tiempo. En cada actividad del ser humano intervienen la incertidumbre, el riesgo y la vaguedad, causando una incerteza en la predicción del futuro. Cuando hablamos de incertidumbre nos referimos a la dificultad de asertar con certeza absoluta algún hecho, por lo general referente al futuro; al hablar de riesgo estamos realizando una predicción sobre el mismo hecho, basándonos en el conocimiento de la frecuencia con que se ha comportado dicho hecho hasta el presente y, hablamos de vaguedad al establecer rangos de comportamiento sobre el hecho que estamos intentando predecir.

Una de las actividades más marcadas por la incertidumbre, riesgo y vaguedad es la planificación. Planificar es el alcance de un objetivo mediante un conjunto ordenado de tareas, o mejor dicho, una estrategia de actuación. En dicho proceso un agente o grupo de agentes utilizan sus conocimientos y recursos disponibles para transformar el estado actual en el estado objetivo. Desde el inicio del proceso, en la definición del problema, se presentan la incertidumbre, la vaguedad y el riesgo; posteriormente se vuelven a presentar en la generación de los diferentes planes alternativos que pueden resolverlo; y finalmente, durante la ejecución del plan escogido. Todos estos factores pueden llegar a desviar por completo la evolución del plan del objetivo que había sido prefijado.

La principal motivación de esta tesis ha sido encontrar una solución, desde el punto de vista de la Inteligencia Artificial y la Ingeniería de Proyectos, al problema de la incertidumbre en la planificación de un tipo específico de proyectos: la planificación de Proyectos de Desarrollo.

1.1.1 Viabilidad de Proyectos de Desarrollo

La planificación de Proyectos de Desarrollo es un caso especial dentro de la planificación debido a los siguientes factores:

- Los Proyectos de Desarrollo son un tipo de proyectos en los que el objetivo es de naturaleza no lucrativa y marcadamente social, es decir, son proyectos cuyo objetivo es mejorar (desarrollar) el nivel de vida de un grupo de personas (del país subdesarrollado), y no el de sacar beneficio de dicha circunstancia (por parte de los cooperantes de los países desarrollados [práctica muy habitual en la década de los [70...] mediante la exportación de tecnología]).
- A causa de la falta de un conocimiento común entre todos los agentes del proyecto, las definiciones del problema a resolver y del objetivo requieren de la participación de todos los agentes cooperantes para llegar a una descripción completa (teniendo en cuenta todos los puntos de vista) y precisa (descripción no ambigua y con variables que aporten la información suficiente sobre el estado del proyecto) del alcance del proyecto.
- En los Proyectos de Desarrollo los agentes que intervienen presentan diferentes intereses y motivaciones. Dicha dispersidad de intereses y motivaciones genera graves conflictos en el acuerdo sobre el problema que se quiere resolver, y posteriormente, sobre el plan que resuelve (obtiene) el problema (objetivo) planteado.
- Debido a los tres factores anteriores, los Proyectos de Desarrollo necesitan algún mecanismo de consenso y gestión del conocimiento entre los diversos participantes, para aprovechar los distintos conocimientos individuales y evitar la fuerza de presión de subgrupos o individuos dentro del proyecto; para de esta manera, obtener un compromiso de alcanzar el objetivo fijado con los recursos disponibles.
- Por otro lado, habiendo llegado a un compromiso sobre un plan determinado a nivel abstracto, la ejecución de dicho plan estará sujeto a sensibles fluctuaciones debido al desconocimiento de: a) todas las precondiciones y condiciones de ejecución (factores letales) para la finalización satisfactoria de cada una de las tareas planificadas; y b) el desconocimiento del comportamiento del contexto a medida que el plan evoluciona.
- A causa de los dos factores anteriores, la planificación de Proyectos de Desarrollo requiere de un mecanismo intuitivo y preciso para establecer las precondiciones y condiciones de ejecución de cada una de las tareas, así como de un modelo útil para predecir los posibles caminos que el plan podrá seguir influenciado por el contexto.

Hemos mostrado los diversos factores que causan la incertidumbre en los Proyectos de Desarrollo. En la presente tesis proponemos soluciones para cada uno de ellos, tanto al nivel de la modelización conceptual como al de la implementación. En el siguiente apartado exponemos brevemente los problemas de los que parte nuestro trabajo.

1.2 Los Problemas de la Planificación de Desarrollo

De cara a poder establecer cuales serán los objetivos, limitaciones y acotaciones de nuestro trabajo, es necesario realizar una breve descripción y análisis de cada uno de los factores expuestos en el subapartado anterior.

1.2.1 Modelizar el conocimiento común e individual en un grupo de agentes.

Según lo expuesto sobre el segundo factor que caracteriza a los Proyectos de Desarrollo, la falta de conocimiento común es la causa de la indefinición del problema que se quiere resolver, y como consecuencia, del objetivo.

El problema planteado nace de la propia naturaleza de los Proyectos de Desarrollo, ya que cualquier Proyecto de Desarrollo parte de la demanda de uno o varios agentes (Acción Enfocada). Dicha demanda plasma la necesidad de cambiar alguna circunstancia del estado actual, bien porque ésta presenta un problema o porque es propicio para realizar mejoras. Sin embargo, los grupos de usuarios suelen confundir hechos concretos, consecuencias de un problema más general (común), con el problema central (global). Esta confusión entre la consecuencia y la causa es generada por el conocimiento parcial del que dispone cada agente.

Para poder definir un modelo útil en la representación del conocimiento individual y común en el grupo de agentes (actores del proyecto) es necesario tener en cuenta el concepto de conocimiento implícito, así como disponer de la formalización de una estructura social en el grupo de agentes, responsable de la estrategia de cooperación en el grupo.

También son necesarios mecanismos extras de gestión de conocimiento aproximado para el grupo de agentes, y de transformación de sentencias pertenecientes al conocimiento de un agente a sentencias interpretables por otro agente con una teoría de conocimiento distinta.

1.2.2 Modelizar el consenso en el grupo de agentes

La característica principal que diferencia a los Proyectos de Desarrollo de los demás tipos de proyectos es su voluntad social y la consensuación en cada fase del proyecto.

En los inicios del desarrollo cooperativo, realizado por las ONGs públicas y privadas de los años 60, prevalecía la relación desarrollado-subdesarrollado entre los países participantes, generando todo tipo de submisiones y fuerzas de presión en ambos lados, respectivamente. Este tipo de enfoque ha variado en los últimos años, naciendo un nuevo modelo de consenso entre las distintas partes.

Sin embargo, la relación de submisión-presión ha permanecido hasta la actualidad dentro de los países subdesarrollados, debido a las fuerzas de coacción (por razones culturales, económicas o políticas) creadas por subgrupos del entorno en el que se ubica el proyecto.

Para poder establecer una relación de igualdad entre las distintas partes del proyecto, tanto a nivel de países como de grupos locales, es necesario representar el conocimiento, motivaciones, objetivos, beneficios y costes de cada una de las entidades participantes. El conocimiento define lo que cada agente sabe sobre un dominio parcial del problema; las motivaciones definen los hechos particulares que cada agente tiene para cambiar del estado actual (problema), definiendo como objetivo la negación de dicho problema; el papel de los beneficios y costes definen la relación entre ganancia y pérdida que cada agente sufrirá en el caso de aceptar la tarea que resuelve el objetivo especificado.

A partir del nivel explicado en el párrafo anterior, se debe definir un nivel social, correspondiente al grupo, que especificará el grado de consenso a partir de las relaciones beneficio-coste del grupo para cada uno de los agentes participantes. Para poder definir el nivel de consenso a nivel del grupo será necesario extender el concepto de objetivo al de objetivo conjunto, además de añadir el concepto que diferencia principalmente las acciones individuales de las cooperativas: el compromiso.

1.2.3 Evitar el problema de la cualificación

Uno de los principales problemas con los que se ha encontrado la planificación es el *problema de la cualificación*, que consiste en la dificultad de definir el inmenso número de precondiciones para cada acción.

Junto al *problema de la cualificación* nos encontramos con el problema consistente en la dificultad de indicar e inferir qué cosas no cambian cuando una acción es realizada y el tiempo transcurre (*problema del marco*). Consecuencia de este problema es el de la dificultad de registrar todas las consecuencias de una acción (*problema de la ramificación*).

Los tres problemas expuestos impiden poder determinar la viabilidad de un plan, entendiendo por viabilidad una probabilidad o grado de certidumbre. El problema de determinar dicha viabilidad fusiona el ámbito de la teoría de la decisión con el de la planificación, formando lo que se puede denominar el *problema de la planificación con incertidumbre*.

El *problema de la cualificación* afecta a los Proyectos de Desarrollo de forma sensible mediante los denominados Factores Letales, siendo éstos aquellos factores que niegan la posibilidad de éxito en la realización de una determinada tarea (acción). Es necesario desarrollar un modelo que permita cualificar las acciones (tareas en el plan abstracto) sin necesidad de explicitar las infinitas precondiciones que se deben cumplir; para ello, debemos definir un modelo que jerarquice las precondiciones a partir de un grado de certeza indicado por el agente responsable de la acción; el modelo deberá permitir la representación de razonamiento aproximado en la evaluación de los hechos. Otro factor a tener en cuenta en el *problema de la cualificación* es el de abarcar también las condiciones de ejecución, que son aquellas que se deberán cumplir durante el intervalo de tiempo que se efectuará la acción. Queremos abarcar este factor, porque de él de-

penderán todas las situaciones posibles que se generarán de la aplicación de cada acción: efectos determinados, disyuntivos y laterales.

1.2.4 Prever la tendencia del contexto

Al explicitar las precondiciones y condiciones de ejecución en cada acción se generan un subconjunto de situaciones posibles (debido a los efectos determinados, los efectos disyuntivos y a las posibles amenazas). Entre este conjunto total de situaciones posibles, nos preguntamos cuál será la tendencia del contexto, entendiendo por tendencia la situación con mayor posibilidad entre el conjunto de situaciones posibles.

Quizás sea el concepto de Contexto el más difícil de modelizar, ya que no existe una concepción clara sobre la entidad del contexto en el proceso de planificación. En el presente trabajo entendemos por contexto el conjunto de situaciones posibles S en un instante t , en el que cada una de las situaciones está construida por el conjunto de hechos que la describen y no contradicen las restricciones del dominio.

Con éste enfoque, la tendencia del contexto se define como la situación más posible, es decir, la situación que dispone de un conocimiento más impreciso, o lo que es lo mismo, la situación con la entropía de información mayor.

El hecho de utilizar la entropía como función de evaluación de la imprecisión parte de la aplicación de dicha magnitud en la termodinámica, definiendo la situación más probable (posible en nuestro caso) como aquella en la que las partículas tienen una distribución más desordenada, es decir, la que utiliza menos energía para mantenerse en dicho estado. El paralelismo con las situaciones posibles se basa en entender dicho desorden como el nivel de incertidumbre medio de todos los hechos que describen la situación.

1.3 Objetivo

La motivación de nuestro trabajo ha sido encontrar una solución real a cada uno de los problemas identificados, es decir, encontrar una solución real al problema de la planificación de Proyectos de Desarrollo. En la Figura 1.1 mostramos la relación de los problemas descritos con las diferentes fases de la planificación de Proyectos de Desarrollo.

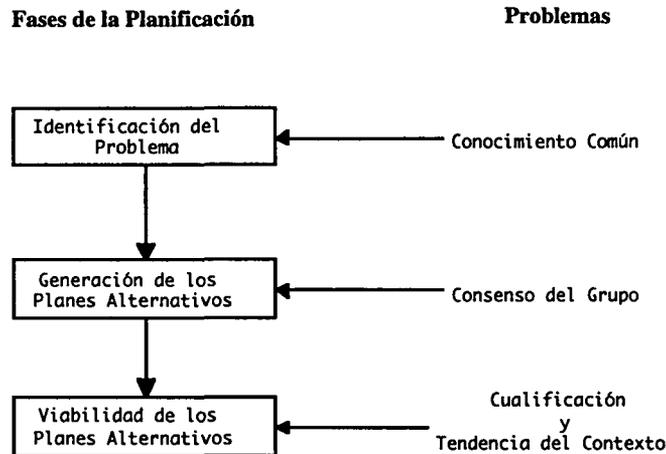


Figura 1.1: Los problemas en la planificación de Proyectos de Desarrollo.

El objetivo de nuestra tesis es resolver los problemas descritos en el apartado 1.2 mediante las teorías de la Inteligencia Artificial y la Ingeniería de Proyectos. Dicho objetivo requiere definir la ontología (el conjunto de conceptos, relaciones, procesos de control y sistemas de evaluación) que resolverá el conjunto de problemas planteados. El modelo que desarrollaremos, denominado Planificación de Desarrollo Cooperativo, representa una mejora metodológica respecto a los modelos que se están utilizando en la actualidad en la planificación de Proyectos de Desarrollo y Cooperación (EML, ZOPP).

1.4 Modelo Conceptual

En los siguientes cinco subapartados describimos brevemente la ontología propuesta para la Planificación de Proyectos de Desarrollo.

1.4.1 Planificación de Desarrollo Cooperativo

El concepto principal de la tesis es el de Planificación de Desarrollo Cooperativo, dicho concepto proviene de la unificación de las metodologías de la Ingeniería de Proyectos en la planificación de Proyectos de Desarrollo y las teorías sobre Resolución Cooperativa de Problemas (RCP) en Inteligencia Artificial. La Planificación de Desarrollo Cooperativo es el intento de definir un modelo útil para la gestión de Proyectos de Desarrollo en las fases de *Identificación de Problemas*, *Generación de Planes Alternativos* y *Cálculo de Viabilidad*. Dicho modelo tiene como finalidad resolver el problema de la incertidumbre en el proceso de planificación de Proyectos de Desarrollo, proponiendo el plan (en el caso que exista) más viable. En la Figura 1.2 mostramos el esquema general de la Planificación de Desarrollo Cooperativo.

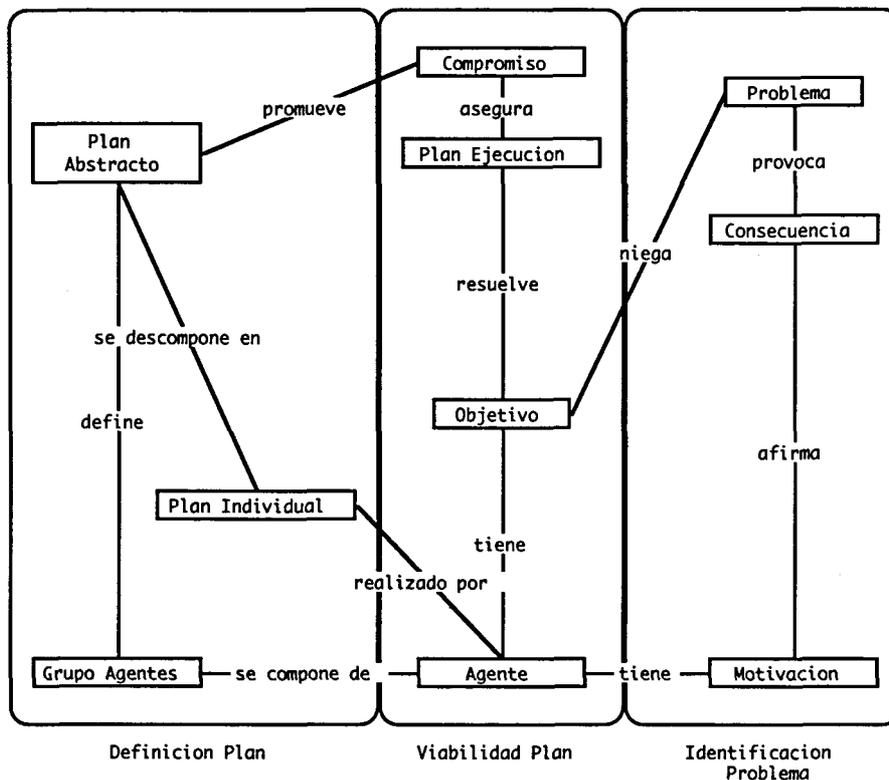


Figura 1.2: Esquema general de la Planificación de Desarrollo Cooperativo.

En la Planificación de Desarrollo Cooperativo un grupo de agentes intenta identificar el problema global que quieren resolver (problema central) a partir del conocimiento implícito formado por los conocimientos parciales de cada agente. Una vez identificado el problema, su negación se convierte en el objetivo central del grupo y se genera un conjunto de planes alternativos abstractos teniendo en cuenta el coste/beneficio de cada agente y el total; de dichos planes sólo unos pocos podrán generar un compromiso entre todos los agentes del proyecto (debe existir una aceptación unánime de la voluntad de querer realizar el plan). Finalmente, el conjunto de planes alternativos aceptados son descompuestos para calcular su viabilidad, teniendo en cuenta las distintas incertidumbres generadas por las precondiciones, condiciones de ejecución, efectos laterales, efectos disyuntivos y tendencia del entorno. El plan escogido al finalizar dicho cálculo será el plan con menor desorden y menor distancia al objetivo.

El proceso de Planificación de Desarrollo Cooperativo lo podemos esquematizar en las siguientes fases:

- **Fase de Identificación de los Problemas:** el grupo de agentes intenta inferir la/s causa/s de cada uno de los subproblemas (estados actuales negativos) que cree susceptibles de mejora (o no está contento con ellos), para posteriormente establecer una lista priorizada de objetivos (centrales-comunes y centrales-individuales).

- **Fase de Generación de Planes Alternativos:** a partir de la lista priorizada de objetivos centrales el grupo de agentes intenta generar un conjunto de planes alternativos abstractos que pueden resolver cada uno de los objetivos definidos. Posteriormente, el grupo debe tener en cuenta los costes/beneficios de cada uno de los participantes de cara a poder establecer los posibles compromisos de realizar cada uno (o ninguno) de los planes propuestos.
- **Fase de Cálculo de Viabilidad:** el grupo de agentes calcula la viabilidad de la lista de planes con compromiso; para ello, debe de tener en cuenta las incertidumbres generadas en cada acción por las precondiciones y condiciones de ejecución, así como la tendencia del contexto entre las distintas situaciones posibles debido a los efectos laterales, efectos disyuntivos y desorden del sistema. La fase debe finalizar con el plan con mayor posibilidad y mayor éxito (en el caso que exista).

En los subapartados 1.4.2, 1.4.3, 1.4.4 y 1.4.5 describimos los modelos propuestos para resolver cada una de las fases descritas (1.4.4 y 1.4.5 resuelven conjuntamente la Fase de Cálculo de Viabilidad).

1.4.2 Agentes Distribuidos y Conocimiento

El modelo que proponemos para resolver la *Fase de Identificación de los Problemas* parte de diferentes conceptualizaciones dentro del campo del razonamiento sobre el conocimiento.

La primera de ellas es la teoría de los Mundos Posibles, que formula el conocimiento de un agente individual como las sentencias en un mundo w_0 comunes a todos los mundos w_i accesibles desde w_0 . De manera intuitiva, la teoría de los Mundos Posibles explicita lo que el agente conoce mediante la exploración de todas las situaciones posibles en las que el agente se puede encontrar y que no son contradictorias con su situación inicial, definiendo como conocimiento lo que es común a todas ellas.

La segunda es la teoría de la Adecuación de Teorías, que parte a su vez, de la teoría del Contexto. La teoría de la Adecuación de Teorías se basa en la utilización de un espacio de teorías, cada una de ellas con una base de conocimiento especializada, que pueden resolver (demostrar) un hecho a partir de la navegación entre las distintas teorías mediante reglas de conexión (reglas puente).

La tercera es la teoría del Conocimiento Implícito, basada en la resolución (demostración) de un hecho mediante el conocimiento distribuido de un grupo de agentes.

Desde nuestro punto de vista, el problema de *Identificación de los Problemas* es la identificación de una serie de causas, comunes y no comunes, ordenadas, del conjunto de subproblemas identificados por el grupo de agentes. Dicho proceso de identificación lo entendemos, desde el punto de vista lógico, como el proceso deductivo colaborativo entre las teorías de todos los agentes participantes que, por conocimiento implícito y adecuación de teorías, demuestra cada uno de las causas de los subproblemas.

En la Figura 1.3 podemos ver el modelo propuesto en el caso de disponer de dos agentes.

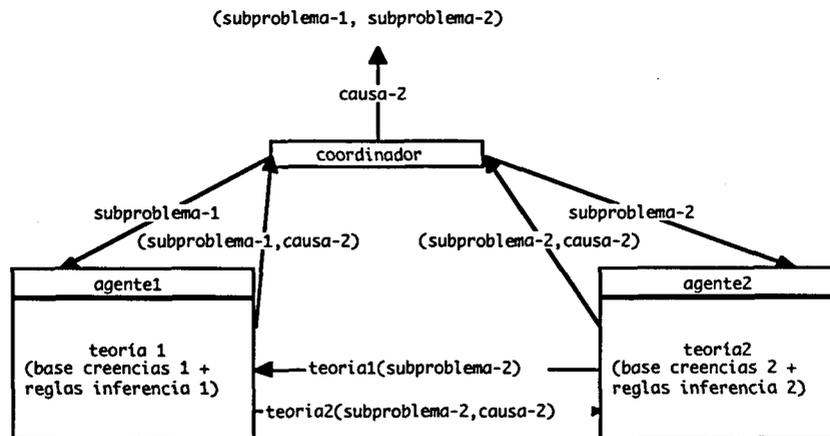


Figura 1.3: Identificación entre dos agentes de las causas de los subproblemas.

1.4.3 Agentes Sociales y Consenso

El modelo propuesto para resolver la *Generación de Planes Alternativos* parte de dos campos de investigación en Inteligencia Artificial: la Resolución Cooperativa de Problemas y la Planificación Jerárquica.

La Resolución Cooperativa de Problemas es un tipo específico de interacción en sistemas de Inteligencia Artificial Distribuida (IAD), que ocurre cuando un grupo de agentes distribuidos deciden trabajar conjuntamente para llegar a un objetivo común. Dentro del campo de la Resolución Cooperativa de Problemas el modelo que más nos interesa es el de los Agentes Sociales; dicho modelo define un nivel de conocimiento por encima de la Base de Conocimiento de cada agente denominado Nivel Social, que es el concerniente con todos los aspectos sociales de un sistema de múltiples agentes.

En el presente trabajo presentamos una ontología del Nivel Social aplicado a los Proyectos de Desarrollo denominada Planificación Cooperativa. En ella definimos los conceptos de problema, motivación y objetivo (individuales y conjuntos); así como los de oportunidad de cooperación, compromiso y convenio. Dentro de la ontología presentamos una estrategia de comportamiento del grupo de agentes, a partir de la relación de Coste/Beneficio de cada agente y el grupo. En el caso de los Proyectos de Desarrollo la estrategia más adecuada es la de las Acciones Sociales.

Junto a los conceptos mencionados anteriormente, presentamos los elementos que definen una planificación jerárquica. En donde plan, tarea y acción son los tres niveles de abstracción. Estos tres niveles de abstracción nos permiten trabajar con las relaciones siguientes:

- Un plan resuelve un objetivo. El objetivo es un objetivo conjunto al grupo de agentes o un conjunto de subobjetivos particulares y grupales.

- Un plan está descompuesto en un conjunto de tareas. El conjunto de tareas pertenece al conocimiento implícito del grupo de agentes.
- Una tarea está resuelta por un conjunto de acciones. La resolución de la tarea pertenece al agente responsable de la tarea (agente responsable individual).

En las figuras 1.4 y 1.5 se presentan el proceso de consenso entre el grupo de agentes y los conceptos de la planificación jerárquica, respectivamente.

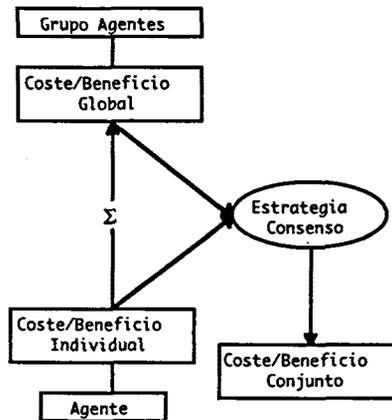


Figura 1.4: Proceso de consenso en el grupo de agentes.

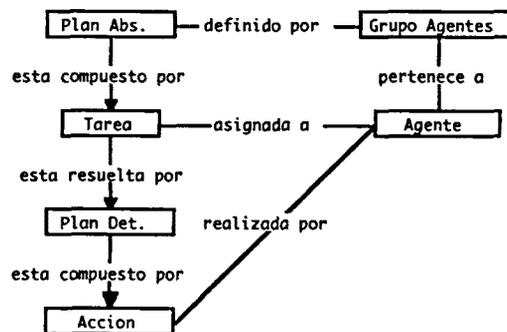


Figura 1.5: Los conceptos de la planificación jerárquica.

En la fase de *Generación de Planes Alternativos* el grupo de agentes debe generar un conjunto de planes abstractos mediante el conocimiento implícito del grupo. De este conjunto de planes abstractos no todos serán adecuados para llegar a un compromiso, por lo que sólo aquellos que por consenso generen un compromiso serán los objetos de estudio en la fase de *Cálculo de Viabilidad* (no es necesario estudiar la viabilidad de un plan que el grupo de agentes no están dispuestos a llevar a cabo).

1.4.4 Cualificación Priorizada

El problema de la viabilidad de un plan en un contexto de incertidumbre proviene de: a) el hecho de desconocer, o no poder explicitar, la infinita cantidad de precondiciones y condiciones de ejecución de cada acción del plan, de cara a poder predecir los diferentes estados resultantes (situaciones posibles), denominado cualificación; b) el hecho de no poder establecer cuál de entre las situaciones posibles generadas (por efectos determinados, efectos laterales o efectos disyuntivos) será la tendencia real del sistema. En este subapartado mostramos resumidamente el modelo utilizado para resolver el primer factor.

La solución que proponemos se basa en tratar el conocimiento de cada agente como una teoría priorizada mediante razonamiento aproximado. La solución se basa en dividir el conjunto de precondiciones en dos particiones que se tratan por separado; la primera está compuesta por las precondiciones necesarias y las amenazas inevitables, es decir, el conocimiento que el agente debe tener en cuenta de manera obligatoria; la segunda está compuesta por las amenazas posibles, los hechos que posiblemente (no necesariamente) pueden afectar al intento de la acción en estudio. El subconjunto de amenazas posibles está ordenado de forma decreciente por el grado de certidumbre (posibilidad), de esta manera se generan las distintas acciones que asegurarán el intento de la acción. El mismo tratamiento se realiza en la fase de ejecución de la acción, con las condiciones de ejecución necesarias, las amenazas de ejecución. En la ejecución, las distintas amenazas generan las distintas situaciones posibles.

$$\{precondiciones_necesarias \wedge \neg amenazas_inevitables, \neg amenazas_posibles\}$$
$$\{condiciones_ejecucion, \neg amenazas_ejecucion\}$$

El proceso propuesto para resolver el problema de la cualificación se basa en dos fases: estudio del intento de la acción y estudio de la ejecución de la acción. En la primera fase se resuelven todas las posibles amenazas para aplicar la acción; en la segunda fase se tienen en cuenta todas las posibles amenazas durante la ejecución de la acción.

Tanto en la primera fase como en la segunda, las posibles amenazas son resueltas por el conocimiento implícito del grupo de agentes, priorizando el conjunto de teorías (siendo la primera la del agente que realizará la acción). El proceso de resolución de amenazas se muestra en la Figura 1.6.

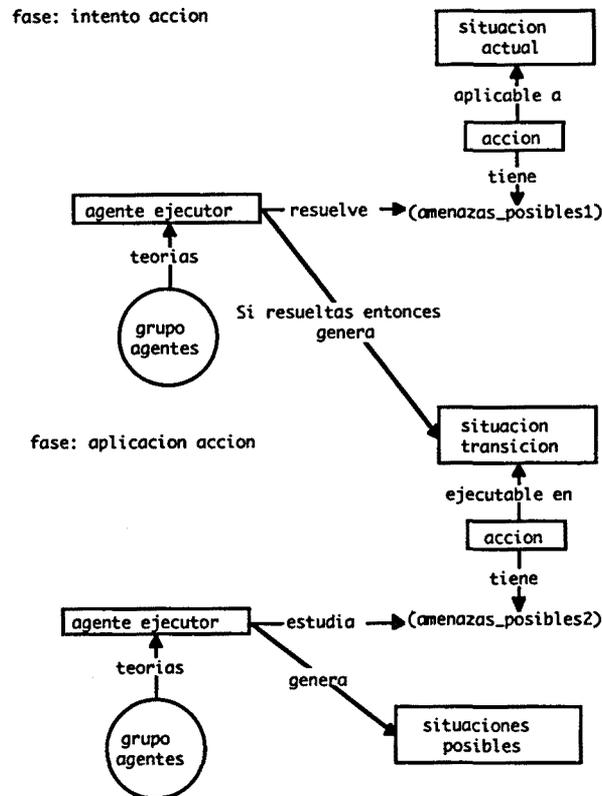


Figura 1.6: Resolución de amenazas.

1.4.5 Situaciones Posibles y Entropía

En este subapartado mostramos brevemente el modelo que proponemos para identificar cuál de las situaciones posibles, generadas por la ejecución de una acción, es la tendente. El modelo parte de la teoría de la entropía en termodinámica, adaptándola en nuestro caso al nivel de desorden de los hechos que describen cada situación posible, e interpretando la situación posible con mayor entropía como la tendencia del sistema. Todo ello bajo la condición de que el grupo de agentes no consuma energía externa.

$$\Delta(I(\text{sitema_planificaci n})) = 0 \rightarrow \Delta(S(\text{sitema_planificaci n})) \geq 0$$

$$\text{situaciones_posibles} = W(\text{accion}, \text{situaci n_transici n})$$

$$\text{situaci n_efecto} = \text{primera}(\text{ordenar_por_S} > (\text{situaciones_posibles}))$$

Mediante el modelo propuesto demostramos en nuestro trabajo la propiedad antisimétrica del cambio respecto al tiempo. Sin embargo, al estar directamente relacionada con la energía interna del sistema (el sumatorio de las energías internas de los agentes cooperativos), se puede recuperar el grado de certidumbre (no siempre el total) en las diferentes situaciones posibles gene-

radas ejecutando acciones adicionales (sensoriales o condicionales) y consumiendo parte de la energía interna del sistema.

La estrategia adecuada para el grupo de agentes se basa en obtener el máximo incremento de la certidumbre con el mínimo consumo de la energía interna del sistema, es decir, en la selección de la situación posible más viable para aplicarle una acción adicional que genere la situación efecto con el máximo de certidumbre, de entre todas las situaciones posibles y todas las acciones adicionales disponibles por cada agente.

1.5 Trabajo relacionado

En este apartado realizamos un breve recorrido por los trabajos de investigación directamente relacionados con el objeto de la tesis.

Los dos ámbitos principales en los que se enmarcan dichos trabajos son los de la Ingeniería de Proyectos aplicada a la Planificación de Proyectos de Desarrollo y la Inteligencia Artificial Distribuida aplicada a la Planificación.

Las tres fuentes de información han sido: material bibliográfico (libros, artículos e informes técnicos); entrevistas con especialistas en el campo de la Inteligencia Artificial y la Planificación de Proyectos; entrevistas con ONGs (Medicus Mundi, Médicos sin Fronteras, Setem, Vetermón, Centre de Cooperació i Desenvolupament).

En el ámbito de Proyectos de Desarrollo (PDs) la mayoría de referencias están basadas en casos, sin embargo, un buen estudio general sobre las distintas fases en PD lo encontramos en (Beaudoux et al., 1992). Los cambios de enfoque en las estrategias utilizadas en PD se describen y analizan en (Gordon, 1987; Verhaegen, 1987). En el campo de las metodologías de Planificación de Proyectos de Desarrollo, las más utilizadas son el EML (NORAD, 1989) y la ZOPP (GTZ, 1987), o especializaciones de ellas en campos específicos de desarrollo (Vetermón, 1996; Medicus Mundi, 1996).

En lo referente a la teoría de Agentes Inteligentes, el trabajo más completo a nivel general lo encontramos en (Russell & Norvig, 1995). Una breve descripción de los problemas y objetivos actuales se describen en (Wooldridge & Jennings, 1994c; Wooldridge & Jennings, 1995). El nuevo enfoque de cooperación entre agentes inteligentes y agentes humanos, influenciado por las teorías en las ciencias sociales, lo encontramos en (Terveen, 1993).

Es muy difícil hablar de Agentes Inteligentes sin mencionar las directas relaciones de este campo de investigación con los inicios de los Sistemas de Inteligencia Artificial; así como el importantísimo papel de la Lógica dentro de dichos formalismos. Los primeros intentos, así como los primeros reconocimientos de la IA como ciencia autónoma, en definir sistemas inteligentes artificiales parten de (McCarthy, 1959; McCarthy, 1969; McCarthy, 1977; McCarthy, 1978). Uno de los formalismos más importantes sobre el uso de la Lógica en el diseño de Agentes Inteligentes se presenta en (Newell, 1982); y en (Genesereth & Nilsson, 1987) encontramos un tratamiento sistemático sobre Agentes Lógicos.

En el tema del Razonamiento sobre el Conocimiento, partimos de las teorías sobre lógicas epistémicas con el modelo de los Mundos Posibles (MP), expuestas por (Hintikka, 1962; Hintikka, 1986; Kripke, 1963; Levesque, 1984; Halpern & Moses, 1985; Halpern, 1986). Para definir el Conocimiento Común partimos de los trabajos de (Moses, 1986). El Conocimiento Implícito se define en (Halpern & Moses, 1984; Fagin et al., 1996). La Teoría del Contexto parte de (McCarthy, 1993; McCarthy, 1994;) y se expande con la Adecuación de Teorías en (Bouquet, 1994a; Bouquet & Giunchiglia, 1994b).

Una introducción sobre la Inteligencia Artificial Distribuida (IAD) entendida como búsqueda distribuida la encontramos en (Lesser, 1989). También observamos los sistemas de DAI como sistemas de interacción mediante (Brazier et al., 1996; Singh, 1996). La Resolución de Problemas Cooperativa (RCP), un caso específico de los sistemas DAI, está enfocado desde los planteamientos teóricos sobre el nivel social de conocimiento en un grupo de agentes (Jennings, 1992a) y los conceptos de compromiso y convención (Jennings, 1992b; Jennings, 1993; Wooldridge & Jennings, 1994a; Wooldridge & Jennings, 1994b), concluyendo en el concepto de Agentes Sociales (Jennings & Campos, 1997).

Para resolver los problemas de la cualificación y la tendencia del contexto partimos de la evolución de la Inteligencia Artificial en el campo de la planificación: el primer enfoque, denominada Planificación Clásica, se basa en los intentos iniciales en planificación, el cual da un principal interés al concepto de búsqueda (Slagle, 1971; Fikes & Nilsson, 1971; Sacerdoti, 1975; Lifschitz, 1986; Washington, 1990; Cimatti et al., 1991; Currie & Tate, 1991; Soderland & Weld, 1991; Fink & Veloso, 1992; Minton et al., 1994; Tate et al., 1994; Veloso & Stone, 1995). El segundo enfoque, Ontologías de la Planificación, se presenta como un esfuerzo conjunto en definir los distintos elementos, relaciones, evaluaciones y control en el campo de la planificación (Stefik, 1981; Georgeff & Lansky, 1986; Ginsberg, 1986; Ginsberg & Smith, 1988a; Hass, 1986; Morgenstern, 1986; Georgeff, 1988; Tate, 1994), en este apartado se realizan verdaderos avances en la representación de los conceptos de Acción y Tiempo (Allen, 1984; Shoham, 1986a; Shoham 1987; Shoham, 1988; Allen & Ferguson, 1994; Vila, 1994; Zhang & Barringer, 1994), así como los de agente planificador (Hayes et al., 1993; Haddaway & Hanks, 1994). El tercer enfoque, denominado Planificación con Incertidumbre, marca el interés sobre los conceptos de riesgo e incertidumbre; dentro de este enfoque encontramos distintas propuestas para los distintos problemas que generan la incertidumbre en la planificación: los problemas del Marco (McCarthy, 1969; Hanks & McDermott, 1986; McDermott, 1986; Shoham, 1986b) y de la Cualificación (McCarthy, 1977; Ginsberg & Smith, 1988b; Bouquet & Giunchiglia, 1994; Thielscher, 1996); información incierta (Etzioni et al., 1992); modelos estocásticos (Thiébaux et al., 1993; Hertzberg & Thiébaux, 1994); planificación contingente (Pryor & Collins, 1996); eventos externos (Blythe, 1994); y finalmente, decisión con probabilidades (Hanks & McDermott, 1993; Haddaway, 1994a; Haddaway, 1994b) y entropía (Plank, 1962; Nilsson, 1986; Kane, 1989; Buck, 1991).

Junto al tema de la planificación con incertidumbre, partimos de los trabajos sobre Lógica no clásica (Lukasiewicz, 1967; Rasiowa, 1974; Trillas, 1980; Hájek, 1985; Negoita, 1985; Gil,

1990, Zimmermann, 1991; Lazzari et al., 1994; Llerena et al., 1994; Malheiro et al., 1994; Ramírez, 1994; Sales, 1996; Valverde, 1996) para la evaluación de las posibilidades de las distintas situaciones posibles generadas durante la planificación.

En lo referente al concepto y desarrollo de ontologías, tanto a nivel general como aplicado a planificación, partimos de los trabajos de Gruber (Gruber, 1993; Gruber, 1997), el proyecto OntoLingua del KSL (Knowledge Systems Lab.) del SRI (Stanford Research International), basado en el lenguaje KIF (Genesereth, 1995), los trabajos del KRSL Plan Ontology Group (KRSL-POG, 1995; KRSL-POG, 1996), el trabajo del Object Modelong Working Group (Doyle, 1995), y la Ontología de Planificación de Tate (Tate, 1994; Tate, 1995).

1.6 ONGIA

ONGIA es el prototipo informático que integra los modelos propuestos en la tesis. La composición de ONGIA es un conjunto de entidades, siendo cada una de ellas un agente cooperativo.

Cada agente dispone de la ontología general de planificación de Proyectos de Desarrollo Cooperativo y el conocimiento parcial que percibe del contexto inicialmente.

Al nivel de grupo todos los agentes comparten una determinada estrategia de planificación, que define el grado de riesgo que el grupo está dispuesto a asumir para alcanzar los objetivos del proyecto. Todo el grupo participa en cada etapa del proyecto: *Identificación de los Problemas, Definición de los Objetivos, Generación de Planes Alternativos y Cálculo de Viabilidad.*

Al nivel individual, cada agente dispone de una base de conocimiento de contexto sobre el dominio del proyecto: problemas, consecuencias y causas; restricciones sociales, económicas, tecnológicas e institucionales. Este dominio parcial es el utilizado en la identificación de los problemas centrales y en la definición de los objetivos específicos. Además, cada agente dispone de una segunda base de conocimiento sobre el dominio de planificación. Este conocimiento integra los dominios de la Planificación de Desarrollo Cooperativa, la Cualificación Priorizada y la Evolución del Contexto. Dentro del conocimiento social se encuentran las diferentes estrategias de acuerdo y consenso del grupo de agentes.

1.7 Principales Contribuciones

La principal contribución de la tesis es la definición de una ontología para la Planificación de Desarrollo Cooperativo, en donde un conjunto de modelos teóricos integra la planificación en Inteligencia Artificial, con la Ingeniería de Proyectos aplicada a la Planificación y el estudio de Sistemas Termodinámicos. Toda ontología es de tipo composicional, la integración se obtiene construyendo el cuerpo global desde los elementos que la componen. Éste es el motivo por el cual la tesis ha sido estructurada a partir de los elementos constitutivos de la ontología. Por lo tanto, el conjunto de contribuciones se pueden mostrar utilizando la misma estructura de la tesis.

En el tema del Razonamiento sobre el Conocimiento, partimos de las teorías sobre lógicas epistémicas con el modelo de los Mundos Posibles (MP), expuestas por (Hintikka, 1962; Hintikka, 1986; Kripke, 1963; Levesque, 1984; Halpern & Moses, 1985; Halpern, 1986). Para definir el Conocimiento Común partimos de los trabajos de (Moses, 1986). El Conocimiento Implícito se define en (Halpern & Moses, 1984; Fagin et al., 1996). La Teoría del Contexto parte de (McCarthy, 1993; McCarthy, 1994;) y se expande con la Adecuación de Teorías en (Bouquet, 1994a; Bouquet & Giunchiglia, 1994b).

Una introducción sobre la Inteligencia Artificial Distribuida (IAD) entendida como búsqueda distribuida la encontramos en (Lesser, 1989). También observamos los sistemas de DAI como sistemas de interacción mediante (Brazier et al., 1996; Singh, 1996). La Resolución de Problemas Cooperativa (RCP), un caso específico de los sistemas DAI, está enfocado desde los planteamientos teóricos sobre el nivel social de conocimiento en un grupo de agentes (Jennings, 1992a) y los conceptos de compromiso y convención (Jennings, 1992b; Jennings, 1993; Wooldridge & Jennings, 1994a; Wooldridge & Jennings, 1994b), concluyendo en el concepto de Agentes Sociales (Jennings & Campos, 1997).

Para resolver los problemas de la cualificación y la tendencia del contexto partimos de la evolución de la Inteligencia Artificial en el campo de la planificación: el primer enfoque, denominada Planificación Clásica, se basa en los intentos iniciales en planificación, el cual da un principal interés al concepto de búsqueda (Slagle, 1971; Fikes & Nilsson, 1971; Sacerdoti, 1975; Lifschitz, 1986; Washington, 1990; Cimatti et al., 1991; Currie & Tate, 1991; Soderland & Weld, 1991; Fink & Veloso, 1992; Minton et al., 1994; Tate et al., 1994; Veloso & Stone, 1995). El segundo enfoque, Ontologías de la Planificación, se presenta como un esfuerzo conjunto en definir los distintos elementos, relaciones, evaluaciones y control en el campo de la planificación (Stefik, 1981; Georgeff & Lansky, 1986; Ginsberg, 1986; Ginsberg & Smith, 1988a; Hass, 1986; Morgenstern, 1986; Georgeff, 1988; Tate, 1994), en este apartado se realizan verdaderos avances en la representación de los conceptos de Acción y Tiempo (Allen, 1984; Shoham, 1986a; Shoham 1987; Shoham, 1988; Allen & Ferguson, 1994; Vila, 1994; Zhang & Barringer, 1994), así como los de agente planificador (Hayes et al., 1993; Haddaway & Hanks, 1994). El tercer enfoque, denominado Planificación con Incertidumbre, marca el interés sobre los conceptos de riesgo e incertidumbre; dentro de este enfoque encontramos distintas propuestas para los distintos problemas que generan la incertidumbre en la planificación: los problemas del Marco (McCarthy, 1969; Hanks & McDermott, 1986; McDermott, 1986; Shoham, 1986b) y de la Cualificación (McCarthy, 1977; Ginsberg & Smith, 1988b; Bouquet & Giunchiglia, 1994; Thielscher, 1996); información incierta (Etzioni et al., 1992); modelos estocásticos (Thiébaux et al., 1993; Hertzberg & Thiébaux, 1994); planificación contingente (Pryor & Collins, 1996); eventos externos (Blythe, 1994); y finalmente, decisión con probabilidades (Hanks & McDermott, 1993; Haddaway, 1994a; Haddaway, 1994b) y entropía (Plank, 1962; Nilsson, 1986; Kane, 1989; Buck, 1991).

Junto al tema de la planificación con incertidumbre, partimos de los trabajos sobre Lógica no clásica (Lukasiewicz, 1967; Rasiowa, 1974; Trillas, 1980; Hájek, 1985; Negoita, 1985; Gil,

1990, Zimmermann, 1991; Lazzari et al., 1994; Llerena et al., 1994; Malheiro et al., 1994; Ramírez, 1994; Sales, 1996; Valverde, 1996) para la evaluación de las posibilidades de las distintas situaciones posibles generadas durante la planificación.

En lo referente al concepto y desarrollo de ontologías, tanto a nivel general como aplicado a planificación, partimos de los trabajos de Gruber (Gruber, 1993; Gruber, 1997), el proyecto OntoLingua del KSL (Knowledge Systems Lab.) del SRI (Stanford Research International), basado en el lenguaje KIF (Genesereth, 1995), los trabajos del KRSL Plan Ontology Group (KRSL-POG, 1995; KRSL-POG, 1996), el trabajo del Object Modelong Working Group (Doyle, 1995), y la Ontología de Planificación de Tate (Tate, 1994; Tate, 1995).

1.6 ONGIA

ONGIA es el prototipo informático que integra los modelos propuestos en la tesis. La composición de ONGIA es un conjunto de entidades, siendo cada una de ellas un agente cooperativo.

Cada agente dispone de la ontología general de planificación de Proyectos de Desarrollo Cooperativo y el conocimiento parcial que percibe del contexto inicialmente.

Al nivel de grupo todos los agentes comparten una determinada estrategia de planificación, que define el grado de riesgo que el grupo está dispuesto a asumir para alcanzar los objetivos del proyecto. Todo el grupo participa en cada etapa del proyecto: *Identificación de los Problemas, Definición de los Objetivos, Generación de Planes Alternativos y Cálculo de Viabilidad.*

Al nivel individual, cada agente dispone de una base de conocimiento de contexto sobre el dominio del proyecto: problemas, consecuencias y causas; restricciones sociales, económicas, tecnológicas e institucionales. Este dominio parcial es el utilizado en la identificación de los problemas centrales y en la definición de los objetivos específicos. Además, cada agente dispone de una segunda base de conocimiento sobre el dominio de planificación. Este conocimiento integra los dominios de la Planificación de Desarrollo Cooperativa, la Cualificación Priorizada y la Evolución del Contexto. Dentro del conocimiento social se encuentran las diferentes estrategias de acuerdo y consenso del grupo de agentes.

1.7 Principales Contribuciones

La principal contribución de la tesis es la definición de una ontología para la Planificación de Desarrollo Cooperativo, en donde un conjunto de modelos teóricos integra la planificación en Inteligencia Artificial, con la Ingeniería de Proyectos aplicada a la Planificación y el estudio de Sistemas Termodinámicos. Toda ontología es de tipo composicional, la integración se obtiene construyendo el cuerpo global desde los elementos que la componen. Éste es el motivo por el cual la tesis ha sido estructurada a partir de los elementos constitutivos de la ontología. Por lo tanto, el conjunto de contribuciones se pueden mostrar utilizando la misma estructura de la tesis.

Capítulo 3. *Identificación de problemas centrales en Proyectos de Desarrollo por el grupo de agentes cooperativos.*

La identificación de los problemas centrales en proyectos de desarrollo requiere la cooperación de todos los agentes del grupo, cada uno de ellos con un conocimiento parcial del contexto, teniendo en cuenta el conocimiento común y el implícito del grupo. Cada agente en ONGIA dispone de un conocimiento parcial del contexto, definido por una teoría principal y un conjunto de reglas puente que la conectan con otras teorías relacionadas. Los hechos definidos a priori en la teoría son conocimiento.

El conocimiento común es el conocimiento que es igual en todos los agentes del grupo (o un subgrupo), es decir, un problema central es igual a la causa común de los subproblemas planteados al grupo (subgrupo). El conocimiento implícito es el conocimiento distribuido entre los agentes del grupo que define las causas de un problema identificado (cada teoría puede establecer diferentes causas).

ONGIA genera, a partir de los conocimientos parciales de los diferentes agentes del grupo, la lista de problemas centrales, ordenados por n° de agentes identificadores, del proyecto de desarrollo.

Capítulo 4. *Definición de los objetivos centrales y generación de los planes abstractos alternativos para el Proyecto de Desarrollo por el grupo de agentes cooperativos.*

A partir de la lista de problemas centrales se debe generar la lista de objetivos centrales y un conjunto de planes alternativos solución. El primero define los subobjetivos que se deben resolver en el proyecto de desarrollo; el segundo resuelve cada uno de los subobjetivos planteados.

Así como la lista de problemas define los estados actuales del contexto, la definición de la lista de objetivos centrales explicita los estados futuros a los que se quiere llegar. En ONGIA se define un conjunto de *problemas* a resolver, compuestos por el estado inicial y el estado final; cada uno de estos problemas son analizados por el grupo de agentes para, mediante el conocimiento implícito del grupo, obtener el conjunto de planes alternativos a nivel abstracto.

Para llegar a un compromiso entre el grupo de agentes, el grupo evalúa el coste y beneficio conjunto del grupo, así como el de cada agente al que se le asigna una tarea. Del conjunto de planes alternativos se obtiene, mediante el filtro de las evaluaciones descritas, un subconjunto de planes con compromiso en los que se establece un convenio entre el grupo de agentes para asegurar su ejecución. ONGIA genera los planes alternativos mediante planificación abstracta.

Capítulo 5. *Cálculo de la viabilidad de los planes alternativos mediante cualificación priorizada y análisis de la tendencia del contexto mediante la entropía de las situaciones posibles y aumento de la seguridad del plan mediante acciones sensoriales y condicionales.*

Para seleccionar el plan alternativo que mejor nos asegure la obtención del objetivo específico planteado, debemos realizar una descomposición de cada plan alternativo estudiando todos los factores letales presentes en el contexto del proyecto.

ONGIA descompone cada tarea del plan abstracto en planes detallados, estudiando tanto los efectos necesarios, como los disyuntivos y los laterales (letales). De esta manera, genera todas las situaciones posibles tras la ejecución de una acción. ONGIA permite la definición de las precondiciones y condiciones de ejecución de los subconjuntos descritos mediante una sintaxis descendiente de la del sistema STRIPS. También permite la definición de comportamientos (acciones especializadas por el tipo de argumento al que se aplican).

Una vez generadas todas las situaciones posibles, tras la ejecución de una acción en la simulación de un plan detallado, se debe poder establecer cuál será la tendencia del contexto; y en el caso de no llegar al grado de seguridad deseado, especificar las acciones adicionales apropiadas para incrementar la seguridad del plan.

ONGIA establece la tendencia del contexto como la situación posible con mayor entropía. Una vez establecida la tendencia, estudia que acciones adicionales se pueden añadir al plan para incrementar la certidumbre de la situación posible establecida, teniendo en cuenta: la estrategia del grupo (conservadora, moderada, arriesgada) y la energía interna del sistema (recursos disponibles y energía de los agentes). Una vez generados todos los planes específicos, ONGIA escoge aquel que presenta un menor desorden y menor distancia al objetivo.

Capítulo 6. *Definición de la ontología de Planificación de Desarrollo Cooperativo.*

Para los modelos de Identificación de Problemas, Definición de Objetivos, Generación de Planes Alternativos, Tendencia de las Situaciones Posibles; y Cualificación Priorizada; es necesario un modelo de evaluación que permita la utilización de razonamiento aproximado y el manejo de la incertidumbre.

ONGIA está compuesto por los tres niveles de una ontología: Estructural y Asociativo; Semántica de la Verdad y Semántica de Prueba (procesos de evaluación y de control). Los tres niveles se describen e integran en este capítulo.

1.8 Estructura de la Tesis

La tesis ha sido estructurada con el objetivo de ir adentrándose en el problema de la incertidumbre en Proyectos de Desarrollo a partir de las fases de la planificación. A partir de esta estructura, en la que se identifican los distintos problemas que generan la incertidumbre dentro de cada fase, se proponen soluciones que irán formando parte de una ontología de Planificación de Desarrollo Cooperativa.

Capítulo 2: Inicialmente se hace un recorrido histórico de los Proyectos de Desarrollo. Se describen las fases que componen un Proyecto de Desarrollo. Se analizan las distintas metodologías utilizadas en este campo (Enfoque del Marco Lógico, Planificación Orientada a Objetivos) y se identifican las deficiencias de dichas metodologías respecto al tratamiento de la incertidumbre. Finalmente se especifican los problemas a resolver en la presente tesis.

Capítulo 3: Se describen y analizan los antecedentes en IA sobre las teorías de Agentes Inteligentes y el razonamiento sobre el conocimiento (Mundos Posibles, Conocimiento Común y Distribuido, Teoría del Contexto); se define la arquitectura de los agentes en Planificación de Desarrollo Cooperativo.

Capítulo 4: Se presentan y analizan los antecedentes de la Resolución Cooperativa de Problemas y la teoría de Agentes Sociales. A partir de los cuales, se define el Nivel Social de un sistema de Planificación Cooperativa.

También se analizan en este capítulo los antecedentes de la Planificación Clásica en lo referente a la abstracción de planes (Planificación Jerárquica o Abstracta) y se define el proceso de generación de planes alternativos a nivel abstracto, teniendo en cuenta los niveles cooperativo y social.

Capítulo 5: Se analiza una serie de antecedentes en el tratamiento de la cualificación y ontologías propuestas en el campo de la planificación en IA. Se define una sintaxis para representar acciones y un método para priorizar las cualificaciones, de manera que se puedan tener en cuenta todas las situaciones posibles generadas a partir de la teoría de un agente. Se analizan y comentan los tres modelos principales utilizados para entender la tendencia del contexto: Platónico, Probabilístico y Termodinámico. Se recupera el modelo Termodinámico, conectándolo con las Situaciones Posibles definidas en el modelo de la Tendencia del Contexto.

Capítulo 6: Se integran las ideas desarrolladas en los capítulos 3, 4 y 5 y se define toda la ontología de Planificación de Desarrollo Cooperativo. Se definen los elementos del nivel

estructural y asociativo, la semántica de prueba, así como los procesos de cada fase de la PDC.

Capítulo 7: Se muestran las conclusiones de la tesis y se presentan futuras líneas de trabajo en el campo de la Planificación de Desarrollo Cooperativo.

Anexo A: Se presenta la metodología de Planificación de Desarrollo Cooperativo para su utilización como marco global de un Proyecto de Cooperación y Desarrollo, indicando en cada fase los pasos a realizar, las entradas y salidas.

Anexo B: Se muestran los formularios utilizados por algunas ONGDs para la evaluación de Prtoyectos de Cooperación y Desarrollo.

Capítulo 2

Proyectos de Desarrollo

Al hablar de desarrollo, hablamos de un conjunto de dinámicas sociales, económicas y políticas. La integración de dichas dinámicas en una acción coherente es el objetivo de los Proyectos de Desarrollo (PDs).

Las ONGDs son las entidades que apoyan y ayudan a llevar a cabo las acciones de desarrollo, ocupando un lugar importante en las relaciones sociales y políticas. Los elementos de un Proyecto de Desarrollo (actores, problemas, objetivos, fases y metodologías) es la base de toda Acción de Desarrollo. En este capítulo realizamos un estudio y análisis de dichos conceptos, mostramos las deficiencias de las metodologías actuales, y finalmente, definimos las líneas de nuestro trabajo para mejorar dichas deficiencias.

2.1 Introducción

En toda Acción de Desarrollo se pueden diferenciar tres niveles de función: la acción local, el apoyo a la acción y la financiación. Estos tres niveles de función forman el esqueleto de la acción, que a su vez, se identifican los tres tipos de actores principales. Es importante que los tres niveles de función se realicen conjuntamente por los tres tipos de actores para conseguir que la envergadura de la acción trascienda de lo puramente local (geográfica y temporalmente). De esta manera es como en la actualidad las ONGDs de financiamiento han adquirido un papel relevante en la sociedad.

Un buen análisis de los marcos social, económico y político en el contexto del proyecto, así como de las relaciones entre los distintos actores, ayuda a definir de manera realista los problemas y objetivos del proyecto. Del mismo modo, explicitar las fases y responsabilidades de los distintos actores mediante consenso ayuda a la cooperación y consecuentemente, asegura la obtención del objetivo.

2.1.1 Los actores

Los actores de un Proyecto de Desarrollo son aquellas personas, grupos y entidades (materiales o abstractas) que forman parte directa o indirecta del proyecto. La clasificación que realizamos,

a partir de una ampliación¹ de (Beaudoux et al. 1992), se divide en:

Actores de acción. *Son aquellos actores que se encuentran en el contexto local del proyecto.*

- Organizaciones de representación: son las responsables de representar a sus miembros en la negociación con otros actores de acción o de apoyo.
- Comunidades: tienen una función más amplia que las organizaciones de representación, ya que pueden realizar la función de representación y administrar los bienes comunes del grupo.
- Asociaciones: son más limitadas que los grupos anteriores, ya que son de tipo voluntario.
- El Medio Ambiente[†]: es una entidad abstracta que establece las restricciones de tipo ecológico sobre el objetivo del proyecto.
- Otras Acciones de Desarrollo[†]: son otras acciones que se realizan en el mismo contexto local al proyecto, que pueden generar conflictos o beneficios al proyecto actual.

Los actores de acción son subtipos de los tipos:

- Beneficiarios directos: son los actores que reciben directamente los beneficios de la acción de desarrollo.
- Beneficiarios indirectos: son los actores que reciben de manera indirecta los beneficios de la acción.
- Excluidos: son los actores que quedarán perjudicados tras la realización de la acción de desarrollo.

Actores de apoyo. *Son aquellos organismos que se encargan de prestar un apoyo especializado a los actores de acción.*

- ONGDs locales: son ONGDs especializadas en una actividad o en una área determinadas. Prestan servicios de muchos tipos (legal, tecnológico, formación, etc) y hacen de filtro identificando y seleccionando las acciones más viables. También hacen de interlocutor entre los actores de acción y las ONGDs de financiamiento.
- Instituciones privadas: son instituciones locales que desempeñan un papel importante en el contexto local, teniendo mucho peso, tanto de tipo social, como económico o político.

¹ Los actores añadidos se indican por †.

- **Administración Pública:** son las instituciones que definen las restricciones legales o ayudas al objetivo del proyecto.
- **La Tecnología[†]:** es una entidad abstracta que establece las limitaciones o potencialidades del objetivo del proyecto a nivel tecnológico.

Actores de ayuda. Son las ONGDs externas que prestan una ayuda específica a los actores de apoyo.

- **ONGDs de financiación:** son los organismos de los países desarrollados que disponen de los medios económicos para apoyar las acciones de las ONGDs locales del Tercer Mundo.
- **ONGDs de ayuda técnica:** son ONGDs de países desarrollados especializadas en temas tecnológicos. Estas ONGDs aportan ayudas a las ONGDs locales o realizan ellas mismas acciones de desarrollo en el Tercer Mundo.
- **Los Estados del Norte:** realizan una política de cooperación con las ONGDs de ayuda, cofinanciando la mayoría de las acciones de desarrollo.

En la Figura 2.1 se muestra las relaciones entre los diferentes actores del proyecto y los niveles de función (tipo actor).

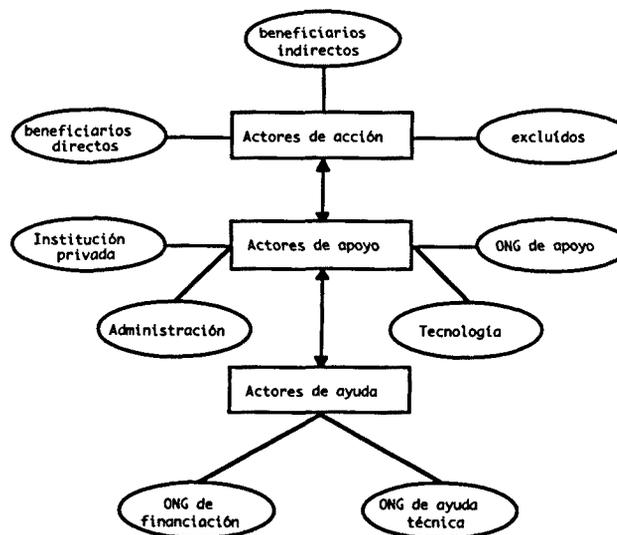


Figura 2.1: Los actores del proyecto.

Las organizaciones de representación, las comunidades, las asociaciones, el Medio Ambiente y otras acciones de desarrollo pueden tener un papel de beneficiarios directos, beneficiarios indirectos o excluidos.

Los actores son las entidades sujeto y objeto del proyecto, es decir, son las que participan directamente en el proyecto y las que sufren o se benefician de él. El conjunto de actores identificados no es una propiedad variable a lo largo de las fases del proyecto; ellos deben formar parte activa de todo el ciclo de vida del proyecto.

2.1.2 Fases del Proyecto de Desarrollo

Los Proyectos de Desarrollo son de acción enfocada, es decir, a menudo la acción de desarrollo parte de la solicitud particular de algún actor o grupo de actores. Dicha solicitud es por lo general ambigua, definida por los deseos e ideas del actor/es demandante/s.

Las fases generales de los Proyectos de Desarrollo son: *Identificación de los actores*, *Identificación de los problemas*, *Definición de los objetivos*, *Viabilidad del proyecto*, *Programación del plan*, *Seguimiento de la ejecución* y *Evaluación de los resultados*. Las fases que definen la naturaleza de los Proyectos de Desarrollo, a diferencia de otro tipo de proyectos, son las de *Identificación de los actores*, *Identificación de los problemas* y *Definición de los objetivos*, al nivel de la dificultad de llegar a un consenso y la incertidumbre de la información inicial; y la *Viabilidad del proyecto*, al nivel de realizar una predicción acertada del comportamiento dinámico del proyecto y su contexto.

Una descripción detallada de las fases de los Proyectos de Desarrollo es:

Identificación de los actores. En esta fase se identifican todos los actores relacionados directa o indirectamente con el proyecto, teniendo en cuenta la clasificación del apartado 2.1. Durante este proceso aún no se pueden identificar las clases de beneficiario directo, beneficiario indirecto o excluido, ya que dichas clases dependen de la definición del objetivo central y su relación con cada actor.

Identificación de los problemas. En esta fase el conjunto de actores explicitan los problemas que perciben del estado actual e intentan encontrar la causa global de éstos. Los problemas se describen como estados negativos, no como deseos. La herramienta más utilizada en esta fase es el *Árbol de Problemas*.

Definición de los objetivos. El conjunto de actores construye un *Árbol de Objetivos* a partir de la negación de los componentes del *Árbol de Problemas*.

Viabilidad del proyecto. Se estudia la viabilidad técnica, organizativa, política, económica, social y ambiental del objetivo específico.

- Viabilidad técnica: posibilidad de realización del objetivo y capacidad de los actores de acción para adaptarse a la técnica.
- Viabilidad organizativa: capacidad organizativa de los actores de acción.

- Viabilidad política: sentido favorable o neutro del contexto político.
- Viabilidad económica: perdurabilidad y rentabilidad de la acción de desarrollo.
- Viabilidad social: posibles cambios de la estructura social que puede crear la acción de desarrollo.
- Viabilidad ambiental: desequilibrios generados en el ambiente.

Programación del plan. En esta fase se describen las tareas a realizar para conseguir el objetivo. El plan se compone de las metas y las acciones que las resuelven, junto a la programación de dichas acciones. Una de las herramientas más utilizadas es la *Ficha de Acción*.

Seguimiento de la ejecución. Es el proceso de evaluación continuada de las acciones del plan. Su objetivo es el de adaptar cada acción a la circunstancia actual en el caso de sufrir un desvío de su meta. Es un medio de control y de gestión. El seguimiento se debe realizar por los tres niveles de función.

- Nivel de acción: los actores de acción deben averiguar si cada acción asignada cumple con la programación establecida y si los efectos de éstas son los esperados.
- Nivel de apoyo: los actores de apoyo deben vigilar el buen funcionamiento de las acciones asignadas y prestar las herramientas de seguimiento adecuadas a los actores de acción.
- Nivel de ayuda: los actores de ayuda deben procurar que las acciones de desarrollo financiadas evolucionen de forma regular y estar en contacto continuo con los actores de apoyo.

Evaluación de los resultados. Es el proceso de análisis en profundidad de la distancia de los resultados obtenidos respecto a los resultados esperados. Hay de tres tipos: a) externa, que se realiza por actores externos a la acción de desarrollo que han sido contratados por los actores de ayuda; b) interna, realizada por los actores de acción con la ayuda de los de apoyo; c) mixta, realizada por los actores de acción con la ayuda de los externos.

En la Figura 2.2 se muestra el esquema de las fases de un Proyecto de Desarrollo.

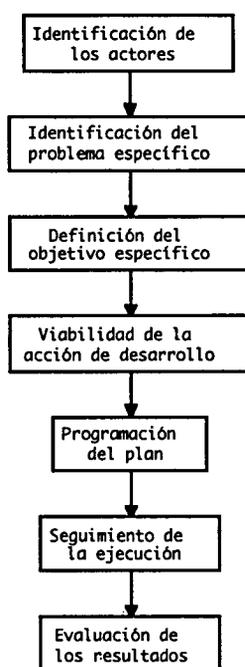


Figura 2.2: Fases de un proyecto de desarrollo.

2.2 Metodologías de planificación en Proyectos de Desarrollo

Una vez clasificados los tipos de actores participantes en los tres niveles de función y descritas las fases del proyecto, es necesario realizar un repaso a las metodologías más utilizadas dentro del ámbito de las acciones de desarrollo: el *Enfoque del Marco Lógico* y la *Planificación Orientada a Objetivos*. La función principal que cumplen dichas metodologías es enfocar/orientar la acción de desarrollo a los objetivos colectivos del grupo de actores.

2.2.1 EML. Enfoque del Marco Lógico

El Enfoque del Marco Lógico (*LFA, Logical Framework Approach*) es un método de planificación de proyectos de desarrollo elaborado por la *US. AID* a finales de los años sesenta (NORAD, 1990; IUDC, 1993).

El EML es una herramienta para planificación y gestión de proyectos orientada a objetivos. La finalidad inicial del EML era conseguir un análisis sistemático y lógico de los elementos clave del proyecto, junto a una mejora del entendimiento y comunicación entre los distintos participantes.

El EML se apoya en la clarificación de la participación, el enfoque de los objetivos a los problemas y en un buen análisis del entorno local del proyecto. En el Enfoque del Marco Lógico se considera que la adecuada realización de un proyecto es la consecuencia de un conjunto de rela-

ciones causales internas y externas al proyecto. En la Figura 2.3 podemos observar dichas relaciones.

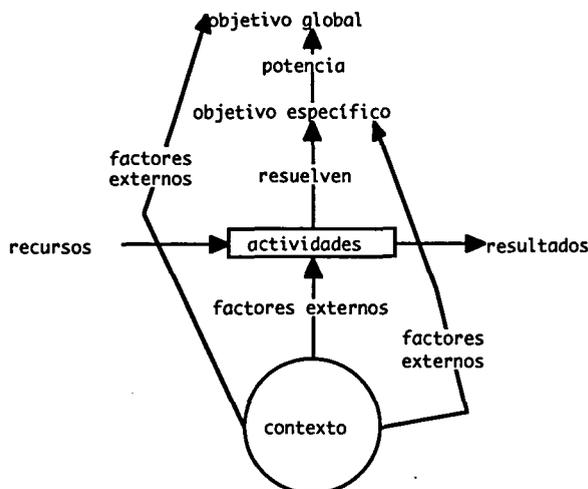


Figura 2.3: Los elementos y relaciones causales del EML.

En el EML se realizan las asunciones: a) los recursos disponibles son los necesarios para la realización de cada actividad; b) los resultados están determinados lógicamente de la ejecución de cada actividad; c) los resultados obtenidos resuelven el objetivo específico y finalmente; d) el objetivo específico potencia el objetivo global. Todo ello teniendo en cuenta el comportamiento incierto del contexto mediante los denominados factores externos.

El *Taller EML* es la herramienta que reúne la metodología de planificación orientada al marco lógico. Sus fases son:

Análisis de la participación. En esta fase se realiza la identificación de las personas, grupos e instituciones implicados directa o indirectamente con el proyecto. Los pasos a realizar son:

- **Identificación de la participación:** se identifican todos los agentes, grupos e instituciones relacionados con el proyecto.
- **Categorización de la participación:** se clasifican los agentes involucrados según las categorías de beneficiario directo, beneficiario indirecto y excluido.
- **Análisis de las relaciones:** se analizan los intereses, potenciales y relaciones entre los distintos agentes (cooperación, dependencia).
- **Priorización:** se realiza una priorización de los intereses para tenerlos en cuenta en el *Análisis de los Problemas*.

Análisis de los problemas. En esta fase se genera el denominado *Árbol de Problemas*, que será la base para definir los objetivos del proyecto.

- **Identificación de los problemas:** se explicitan los estados negativos que existen en la actualidad. No se pueden definir estados futuros o deseos.
- **Identificación del problema focal:** se llega a un acuerdo sobre cuál es el problema central (común) del proyecto.
- **Identificación de causas:** se lincan por debajo del problema focal todas aquellas causas sustanciales y directas que lo generan.
- **Identificación de los efectos:** se lincan por encima del problema focal todos aquellos efectos sustanciales y directos que son consecuencia de él.
- **Construcción del *Árbol de Problemas*:** se construye un árbol causal con el problema focal, las causas y efectos definidos en los pasos anteriores.

Análisis de los objetivos. En esta fase se genera el *Árbol de Objetivos*, que definirá el marco global del proyecto, delimitando los resultados que se deberán obtener por el equipo de acción.

- **Transformación de los problemas en objetivos:** se convierten todos los problemas (problema focal, causas y efectos) a forma positiva.
- **Análisis de medios y fines:** se analizan las relaciones causa-efecto apropiadas para convertirse a relación medio-fin. Puede ser que algunas relaciones no se puedan convertir, forzando la reformulación de los problemas originales.
- **Construcción del *Árbol de Objetivos*:** se construye un árbol causal con el objetivo específico, subobjetivos y consecuencias. Se pueden eliminar aquellos objetivos que puedan parecer irreales o innecesarios, o añadir subobjetivos adicionales.

Análisis de las alternativas. En esta fase se definen las distintas soluciones alternativas que pueden convertirse en la estrategia del proyecto.

- **Identificación de alternativas:** se transforman las ramas medios-fines del *Árbol de Objetivos* en alternativas del proyecto.
- **Selección de la alternativa más viable:** se estudia la viabilidad de las distintas alternativas a partir del coste-beneficio, probabilidad de éxito y riesgos sociales.

- **Introducción de criterios adicionales:** en el caso de no haber llegado a un acuerdo en el paso anterior, se introducen criterios adicionales de factibilidad y se transforma en lo necesario el *Árbol de Objetivos*.

Definición de los elementos del proyecto. En esta fase se construye la *Matriz del Proyecto*, que será la guía durante la ejecución del proyecto.

- **Definición del objetivo global y el objetivo específico:** se identifican en el *Árbol de Objetivos* transformado el objetivo a largo plazo y los efectos esperados del proyecto.
- **Definición de los resultados y actividades:** se identifican en el *Árbol de Objetivos* los subobjetivos que el equipo de acción debe lograr y las acciones que los garantizarán.
- **Definición de los recursos:** se definen los recursos necesarios para la ejecución de cada acción.

Análisis de los factores externos. En esta fase se explicitan las condiciones externas al control que deben existir para que el proyecto tenga éxito.

- **Análisis a nivel de actividad:** se realiza un análisis de los hechos adicionales que deben cumplirse para la satisfactoria pre-ejecución de cada actividad (acción).
- **Análisis a nivel de resultados y objetivos:** se analizan las condiciones adicionales que deben cumplirse para obtener el resultado determinado de cada acción, comparándolo con el resultado esperado.
- **Evaluación de los factores externos:** se evalúan los factores externos en todos los niveles mencionados por su grado de probabilidad, describiéndolos como condiciones positivas. Todos aquellos factores externos que no dispongan de un grado de probabilidad aceptable se califican como factores letales y se replantea el *Árbol de Objetivos*.

2.2.2 ZOPP. Planificación Orientada a Objetivos

El método ZOPP (GTZ, 1987; Fernández, 1989) para la planificación de proyectos de desarrollo, sigla de *Zielorientierte Projektplanung* (Planificación Orientada a Objetivos), fué introducido oficialmente en 1983 por la *Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit* (GTZ), organismo colaborador del Ministerio Federal de Cooperación Económica aleman.

La finalidad del ZOPP era obtener una definición precisa y realista de los objetivos, junto a una mejora de la comunicación y cooperación; todo ello a través de una planificación conjunta entre todos los miembros del proyecto.

Las fases del ZOPP se basan en los principios de consenso, análisis del problema central y orientación por objetivos.

Análisis de la participación. El objetivo de la primera fase es tener una vista global de todos los participantes del proyecto. Los pasos a seguir son:

- **Identificación de los grupos y agentes:** se identifican todos los organismos, grupos y personas que se encuentran relacionados directa o indirectamente con el proyecto o su área de influencia.
- **Categorización de los grupos y agentes:** se clasifican los participantes identificados en el paso anterior según las categorías beneficiario directo, beneficiario indirecto. Se identifican las relaciones existentes entre las distintas categorías (presión, submisión, etc).
- **Estudio de cada agente:** se analiza cada agente, grupo u organismo de forma más precisa.
- **Análisis de las consecuencias:** se analizan las consecuencias que las relaciones entre los distintos agentes pueden generar, y se evalúa la implicación en el buen desarrollo del proyecto.

Análisis de los problemas. El objetivo de la segunda fase consiste en llegar a un consenso en la definición del problema central. Los pasos son:

- **Identificación de problemas:** cada miembro del equipo de desarrollo expresa, como estado negativo y de forma abstracta, el que considera el problema central.
- **Obtención del consenso:** este paso se repite las veces necesarias para obtener la definición de un problema central común. El proceso consiste en ordenar los problemas propuestos según la relación causa-efecto y llegar a un acuerdo a partir de la nueva visión del problema.
- **Análisis de causas y efectos:** una vez identificado el problema central (no tiene porque existir únicamente uno), colocar las causas directas y esenciales debajo del problema central en distribución paralela. Los efectos principales y directos se colocan encima del problema central con la misma distribución (*Árbol de Problemas*).

Análisis de los objetivos. El objetivo de la tercera fase es definir el estado objetivo que se quiere obtener mediante un conjunto de acciones sobre el problema central. Los pasos que la componen son:

- **Reformulación de los problemas:** todos los problemas definidos en la fase anterior (causas, problema central, efectos) se expresan como estados positivos. El problema central ya no se destaca como tal en las siguientes fases.

- **Análisis de medios y fines:** una vez generado el conjunto de objetivos se estudia las parejas de relación causa-efecto para convertirlas en medio-fin. No todas las parejas pueden convertirse a esta relación (*Árbol de Objetivos*).

Análisis de las alternativas. En la cuarta fase se intenta identificar el conjunto de soluciones alternativas que pueden convertirse en la estrategia del proyecto.

- **Generación de soluciones:** la generación de soluciones alternativas se realiza mediante la identificación de las ramas medios-fines del *Árbol de Objetivos*.

- **Evaluación de las soluciones:** las distintas ramas seleccionadas son evaluadas según los parámetros de disponibilidad de recursos, probabilidad de alcanzar el objetivo central, riesgo social, factibilidad política, etc.

Matriz de planificación del proyecto. La última fase es el resumen integral de los aspectos esenciales del proyecto. Los distintos aspectos del proyecto se dividen en una matriz de cuatro columnas.

- **Resumen de objetivos/actividades:** en esta columna se especifica la finalidad del proyecto, el objetivo central del proyecto, los resultados (definidos como hitos), requisito de la obtención del objetivo central, y las actividades que asegurarán dichos resultados.

- **Supuestos importantes:** en esta columna se indican los factores externos al control del proyecto que son necesarios para la obtención del objetivo superior, objetivo central, resultados y actividades. Los supuestos se estudian como condiciones positivas adicionales. En el caso de ser improbables se les denomina supuestos letales, forzando la modificación de la estrategia de solución.

- **Indicadores:** en esta columna se especifican los indicadores objetivos de la medida a la que se ha llegado en los resultados, actividades, objetivo central y objetivo superior.

- **Fuentes de verificación:** en esta columna se indican cuáles son las fuentes de información y agentes encargados para el seguimiento de los indicadores.

El riesgo total del proyecto comprende los riesgos de los resultados como las consecuencias de las condiciones básicas para la ejecución de las actividades. Los supuestos letales o no, cumplen un papel importantísimo en la definición de las alternativas solución.

La estrategia utilizada en el ZOPP es claramente conservadora; en el caso de encontrar un supuesto letal, se elimina automáticamente la solución alternativa relacionada con él.

2.3 Problemas con las metodologías existentes

En este apartado vamos a realizar un análisis de los problemas intrínsecos en las metodologías EML y ZOPP. Los problemas que identificaremos son comunes a ambos métodos.

En la Tabla 2.1 se muestran los conceptos utilizados en el EML y el ZOPP que analizaremos en los próximos subapartados.

EML	ZOPP
2.3.1 Problema Focal	Problema Central
2.3.1 Causa Esencial	Causa Sustancial
2.3.1 Causa Directa	Causa Directa
2.3.1 Efecto Principal	Efecto Sustancial
2.3.1 Efecto Directo	Efecto Directo
2.3.1, 2.3.2 Beneficiario Directo	Beneficiario
2.3.1, 2.3.2 Beneficiario Indirecto	Beneficiario
2.3.1, 2.3.2 Excluido	?
2.3.2 Objetivo Global	Objetivo Superior
2.3.2 Objetivo Específico	Objetivo Proyecto
2.3.2, 2.3.3, 2.3.4 Resultado	Resultado
2.3.3 Tarea	Tarea
2.3.4 Factor Externo	Supuesto
2.3.4 Factor Letal	Supuesto Letal
2.3.4 Recurso	Recurso
2.3.1, 2.3.2 Rel Beneficio/Perdida	Rel Beneficio/Perdida
2.3.3 Rel Coste/Beneficio	Rel Coste/Beneficio
2.3.1, 2.3.2, 2.3.3 Acuerdo	Acuerdo
2.3.1, 2.3.2, 2.3.3 Rel Causa/Efecto	Rel Causa/Efecto
2.3.2, 2.3.3, 2.3.4 Rel Medio/Fin	Rel Medio/Fin
2.3.3, 2.3.4 Solución Alternativa	Solución Alternativa
2.3.3, 2.3.4 Estrategia	Estrategia

Tabla 2.1: Conceptos del EML y el ZOPP en el análisis.

2.3.1 Problemas de la identificación de los problemas

Tanto en el EML, como en el ZOPP, la fase de *Identificación de los Problemas* comienza con la descripción de un conjunto de problemas por los actores involucrados. Una vez expuestos, se genera un árbol causal de los problemas y se selecciona por acuerdo del grupo el que se considera el problema central. Posteriormente se enlaza dicho problema con sus causas y efectos.

En dicho proceso observamos las siguientes deficiencias:

Clasificación a priori de los tipos de actores. La clasificación de los actores se realiza antes que la identificación de los problemas, cuando cada tipología es consecuencia de la priorización de los problemas centrales.

Definición ambigua del problema central. No hay un criterio racional para la identificación del problema central en el árbol causal de problemas. La definición de “acuerdo” queda totalmente abierta a cualquier interpretación.

Falta de claridad en la clasificación de causas y efectos. No hay una jerarquía clara de las causas y efectos. Tampoco existe una sensible diferencia entre las causas directas y las sustanciales, uniéndolas todas en el nivel inmediato al problema central. El mismo problema sucede con los efectos.

Las dos últimas deficiencias presentes en la fase de *Identificación de los Problemas* son de tipo epistemológico, y dentro de este campo, pertenecientes al conocimiento distribuido en un grupo de agentes.

El conocimiento de cada actor es un conocimiento parcial del contexto local del proyecto. Cuando un actor describe un problema existente, lo que está haciendo es una descripción de un estado negativo, que no tiene porque ser el estado que define el problema central; puede ser tan sólo una consecuencia directa de éste, una consecuencia secundaria, terciaria, etc.

Por otro lado, cada actor está describiendo un estado negativo a partir de la teoría interna que él tiene del contexto local del proyecto; entendiendo por teoría el conjunto de hechos que el actor conoce, las reglas lógicas pertenecientes a su dominio de conocimiento, y las reglas de inferencia que su lógica interna utiliza para poder generar o demostrar conclusiones.

La teoría interna limita a cada actor acerca del entendimiento de todas las relaciones causales del proyecto, sin embargo, dicha limitación puede ser reducida mediante una colaboración entre el conjunto de teorías de los actores.

Los dos factores descritos nos muestran que en el caso de existir un problema central, éste puede ser uno de los problemas existentes descritos por cada actor o una causa directa o indirecta de ellos. En ambos casos, éste debería ser el estado negativo, consecuencia o causa, común a todas las demostraciones realizadas por los actores involucrados; sin embargo, puede suceder que no se llegue a encontrar un estado negativo común, o que paralelamente a él, existan otros estados negativos que no dispongan de una causa común.

A partir de lo expuesto, la definición del problema central podría ser una única causa común o la unión de una lista de causas particulares ordenadas por cantidad de actores que las han identificado, a partir de las demostraciones de los estados negativos expuestos por el grupo de actores, incluyendo demostraciones realizadas en colaboración por un conjunto de actores.

Las figuras 2.4, 2.5 y 2.6 muestran los tres casos. El resultado en todos es una lista de causas (común, unión, colaboración de teorías).

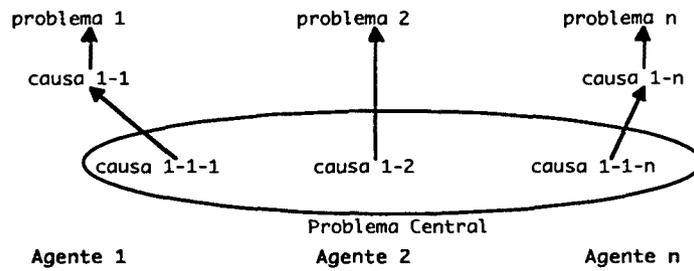


Figura 2.4: El problema central como causa común.

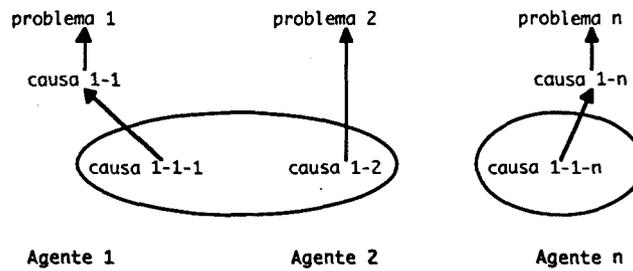


Figura 2.5: El problema central mediante unión de causas particulares.

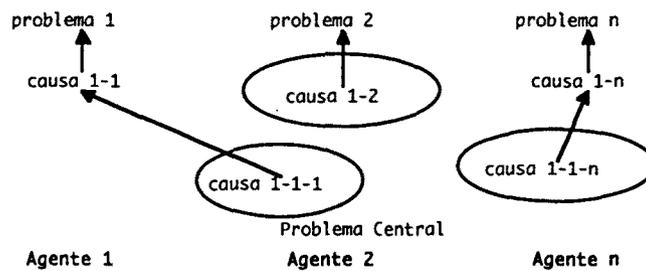


Figura 2.6: El problema central mediante colaboración de teorías.

En los tres casos debe existir un observador del grupo, encargado de establecer las relaciones de intersección, unión o anidamiento entre las distintas demostraciones realizadas por los actores.

Una vez obtenido el problema central, como causa común, unión de causas o colaboración de teorías, se pueden realizar las clasificaciones de los actores que previamente han sido identificados como agentes involucrados en el proyecto. Para establecer dichas clasificaciones es necesario la utilización de parámetros de beneficio-pérdida relacionados con la aceptación o la descalificación de las distintas causas identificadas.

A partir de las valoraciones individuales de beneficio-pérdida se puede establecer qué actores ganan o pierden si se decide resolver, o no, una causa identificada, con lo que obtenemos la clasificación de los beneficiarios directos, beneficiarios indirectos y los excluidos.

- **Beneficiario directo:** es aquel actor que recibe un beneficio al ser resuelta una causa perteneciente a su teoría interna (causa común o unión de causas).
- **Beneficiario indirecto:** es aquel actor que recibe un beneficio al ser resuelta una causa de su teoría interna, y ésta es consecuencia de una causa perteneciente a la teoría de otro actor (colaboración de teorías).
- **Excluído:** es aquel actor que sufre pérdidas al resolverse todas las causas identificadas.

Por último, para la descripción final del problema central es necesaria la definición de una estrategia social (relacionada únicamente con los aspectos de coordinación y acuerdo del grupo de actores) que explicita un acuerdo en la selección de las causas identificadas. La lista obtenida tras el filtro de la estrategia social será la lista definitiva que describirá el problema central del proyecto.

La estrategia social que se utilice para filtrar las causas identificadas ha de tener en cuenta un equilibrio de beneficio-pérdida entre el grupo de actores y cada actor al decidir resolver cada causa. La condición estará expresada por:

$$(BG \vee PG \vee BA \vee PA) \wedge (BG \geq CA \vee BA \geq CG)$$

siendo

<i>BG</i>	Beneficio del Grupo si se resuelve la causa.
<i>PG</i>	Pérdida del Grupo si no se resuelve la causa.
<i>BA</i>	Beneficio del Agente si se resuelve la causa.
<i>PA</i>	Pérdida del Agente si no se resuelve la causa.
<i>CG</i>	Coste de Cooperación del grupo para resolver la causa.
<i>CA</i>	Coste de Cooperación del agente para resolver la causa.
<i>BG'</i>	Beneficio del resto del grupo si se resuelve la causa.
<i>CG'</i>	Coste de Cooperación del grupo para resolver la causa.

2.3.2 Problemas de la definición de objetivos

La fase de *Definición de Objetivos*, en el EML y el ZOPP, es la conversión del *Árbol de Problemas* en el *Árbol de Objetivos*. El proceso consiste básicamente en transformar los estados negativos en positivos, para posteriormente, analizar las relaciones medios-fines del *Árbol de Objetivos* generado.

Existe un problema muy importante en el enfoque mostrado por el EML y el ZOPP:

La negación de la causa no implica la negación de la consecuencia. Éste problema es debido a la errónea evaluación de la conectiva lógica de implicación, consistente en creer

que si un antecedente implica una consecuencia, su negación la niega. En lógica esta afirmación no es del todo cierta, ya que tanto la afirmación como la negación del antecedente pueden implicar la afirmación de la consecuencia. En la tabla 2.2 se muestra la tabla de verdad de la evaluación de $A \rightarrow B$.

A	B	$A \rightarrow B$
1	1	1
1	0	0
0	1	1
0	0	1

Tabla 2.2: Tabla de verdad de $A \rightarrow B$.

El error cometido en afirmar que la negación de la causa siempre niega la consecuencia se basa en presumir que la consecuencia no puede existir por sí misma, debe haber una conexión implícita entre la causa y la consecuencia.

Desde nuestro punto de vista, el tratamiento que se realiza sobre los objetivos en el EML y el ZOPP puede ser adecuado, siempre que no se tengan en cuenta los objetivos generados como estrategias de solución del proyecto.

El proceso de generación de soluciones alternativas debe ser un proceso adicional para crear planes para la obtención del estado objetivo a partir del estado inicial del proyecto.

A partir de lo expuesto, el análisis de medios y fines no es oportuno en la fase de *Definición de Objetivos*, siendo adecuada su ejecución en la fase de *Generación de Soluciones Alternativas*.

2.3.3 Problemas de la generación de soluciones alternativas

En la fase de *Generación de Soluciones Alternativas* el EML y el ZOPP identifican las ramas medios-fines del *Árbol de Objetivos* como las posibles estrategias de solución del proyecto. Posteriormente se realiza un estudio de viabilidad de cada alternativa a partir de los factores técnicos, económicos, sociales, etc.

Como ya hemos indicado en el apartado 2.3.2, las conexiones causa-consecuencia del *Árbol de Objetivos* no tienen porque tener una transformación directa a conexiones medio-fin. Desde nuestro punto de vista, el *Árbol de Problemas* y el *Árbol de Objetivos* definen en colaboración los problemas del proyecto, descritos por los estados inicial y final; siendo las diferentes estrategias de solución los planes que resuelvan cada uno de los problemas descritos. Con este nuevo enfoque, la fase de *Generación de Soluciones Alternativas* se describe por los pasos:

Descripción de los problemas del proyecto. Se genera la lista de problemas del proyecto a partir de la lista de problemas centrales, cada uno de ellos descrito por el estado inicial y el estado final, obtenidos del *Árbol de Problemas* y el *Árbol de Objetivos* respectivamente.

Generación de los planes alternativos. Se generan todos los planes alternativos que resuelven cada uno de los problemas. Los planes son descritos a un nivel abstracto (nivel de tareas).

Acuerdo en la elección de las soluciones. Se evalúan los diferentes planes generados a partir de una estrategia social (al igual que en el apartado 2.3.1) que, mediante acuerdo en el grupo de actores, genere un compromiso de ejecutar cada solución elegida.

En el nuevo proceso de *Generación de Planes Alternativos* los planes se describen a un nivel abstracto, es decir, se realizan una serie de asunciones generales que posteriormente serán estudiadas al nivel de detalle en la fase de *Viabilidad de las Soluciones*.

Los distintos planes alternativos se generan a nivel cooperativo entre todos los actores involucrados. El proceso es similar al de *Identificación de los Problemas* pero añadiendo el dominio de la planificación. Para ello, cada actor debe disponer del conocimiento referente a los conceptos de plan, tareas, precondiciones y efectos de cada tarea. En la Figura 2.7 se muestra el proceso cooperativo para la generación de las soluciones alternativas.

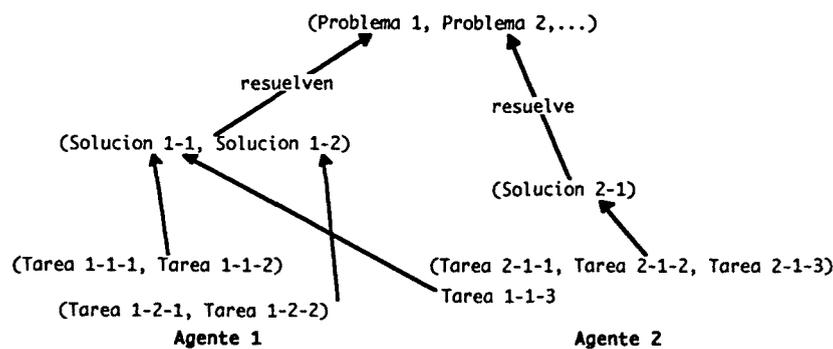


Figura 2.7: Generación cooperativa de soluciones alternativas.

Como los actores trabajan a un nivel abstracto en la generación de los planes, no se tienen en cuenta los conceptos de factor externo y factor letal. Estos conceptos son analizados en la fase de *Viabilidad de los Planes*. Los resultados esperados a partir de la ejecución de los planes son los estados finales de los problemas especificados.

El proceso de *Acuerdo en la elección de las Soluciones* trabaja al nivel social del grupo de actores. De manera similar a la fase de *Identificación de los Problemas*, el acuerdo se realiza a partir de una estrategia social, representada por:

$$(BG > CG \vee BA > CA) \wedge (BG > CA \vee BA > CG)$$

siendo

<i>BG</i>	Beneficio del grupo al realizar una tarea.
<i>CG</i>	Coste del grupo al realizar una tarea.
<i>BA</i>	Beneficio del actor al realizar una tarea.
<i>CA</i>	Coste del actor al realizar una tarea.
<i>CG'</i>	Coste del resto de agentes que cooperan en la tarea.
<i>BG'</i>	Beneficio del resto de agentes.

Una vez obtenida la lista de planes abstractos alternativos, cada tarea debe ser evaluada según la expresión 2; sólo pueden ser objeto de acuerdo aquellos planes abstractos en los que todas las tareas superen la evaluación. Aquellos planes que no pasen la evaluación no pueden ser objeto de estudio de la viabilidad, ya que no han generado ningún compromiso en la fase presente.

La nueva conceptualización de la fase de *Generación de Soluciones Alternativas* debe dar como resultado un conjunto de planes abstractos que cada uno de ellos haya generado un compromiso por parte del grupo de actores. Cada compromiso ha de estar plasmado en un convenio, es decir, la lista de parejas condición-objetivo que permitirá realizar el seguimiento de la ejecución de los planes en la fase de *Viabilidad de las Soluciones*.

2.3.4 Problemas de la viabilidad de las soluciones

En la fase de *Viabilidad de las soluciones* se realiza la programación de las actividades que deben obtener los resultados definidos en la fase de *Generación de Soluciones Alternativas*, para realizar el estudio de viabilidad a partir de los factores técnicos, económicos, sociales, etc.

Hay un grupo de problemas en la presente fase, pertenecientes a tres ámbitos distintos de conocimiento: teoría de la planificación, simulación de procesos dinámicos y teoría de la decisión.

Concepción ideal de las acciones. En el modelo propuesto por el EML y el ZOPP no se tiene en cuenta la naturaleza dinámica del concepto de acción. Dicha concepción hace que no se estudien las etapas de intento y ejecución de las acciones. Consecuencia de ello es tener en cuenta tan sólo los resultados determinados (de forma ideal) por la acción; no se tienen en cuenta efectos disyuntivos o efectos letales.

Dirección unívoca de la evolución del plan. La evolución del plan, es decir, las posibles situaciones que se van generando en el tiempo, transcurren por un único camino, restringido por las concepciones ideales de las acciones.

Estrategia de decisión conservadora. La única estrategia de decisión que se utiliza en ambos modelos no permite márgenes de incertidumbre, limitando el abanico de posibles soluciones.

Con el nuevo enfoque propuesto en los apartados 2.3.2 y 2.3.3, la fase de viabilidad tiene el

objetivo de descomponer los planes abstractos y estudiar su viabilidad, teniendo en cuenta el comportamiento dinámico del proyecto. Los conceptos necesarios para este enfoque son:

Conocimiento sobre las acciones. Para poder realizar el estudio de viabilidad, cada actor debe disponer del conocimiento referente a los conceptos de acción, factores externos, factores letales; así como de efectos necesarios, disyuntivos y letales.

Conocimiento sobre las situaciones y su tendencia. Para poder hallar la tendencia del plan los actores deben disponer de alguna función de estado que permita comparar situaciones diferentes, independientemente del camino utilizado para llegar a ellas.

Conocimiento sobre teoría de la decisión. Para poder guiar el plan a medida que éste avanza por las posibles situaciones generadas, los actores deben disponer de funciones de evaluación y estrategias de decisión que les permita dirigir el camino del plan.

2.4 Conclusiones

A partir de los problemas identificados en las distintas fases de la planificación en los métodos EML y ZOPP observamos que la planificación de Proyectos de Desarrollo requiere la definición de un nuevo modelo.

La ontología que presentamos en los siguientes capítulos, denominada Planificación de Desarrollo Cooperativo, resuelve los cuatro grandes problemas relacionados con la planificación de PDs.

La Tabla 2.3 muestra la relación de los problemas a resolver con las aportaciones de la ontología.

Problema	Modelo
Conocimiento del Grupo	Conocimiento Cooperativo
Comportamiento Social	Planificación Cooperativa
Incertidumbre Ejecución	Cualificación Priorizada
Tendencia del Sistema	Situaciones Posibles y Entropía

Tabla 2.3: Las aportaciones de la Planificación de Desarrollo Cooperativo.

Capítulo 3

Conocimiento Cooperativo

Como ya hemos comentado en el Capítulo 2, el problema del conocimiento parcial en el grupo de actores, tanto al nivel de los hechos que se conocen del contexto del proyecto como al de las reglas lógicas que se utilizan, dificulta las fases de *Identificación de los Problemas* y de *Definición de los Objetivos*, siendo estas dos fases primordiales para la correcta delimitación de la naturaleza del proyecto.

En este capítulo presentamos el modelo conceptual que nos permitirá gestionar el conocimiento distribuido en el grupo de actores, de manera que podamos obtener la identificación correcta de los problemas. El modelo se define a partir de una serie de atributos que consideramos necesarios para el objetivo que nos hemos planteado.

Conocimiento local. Cada actor dispone de un conocimiento parcial del contexto del proyecto. Dicho conocimiento está definido mediante una teoría: hechos, reglas y axiomas deductivos.

Enlace de teorías. Las teorías pueden ser entendidas como conjuntos de conocimiento, de manera que pueden tener intersecciones entre ellos. En el caso de existir una intersección entre las reglas de dos teorías, estas dos teorías tienen un enlace que las conecta.

Coherencia entre las teorías. Las teorías que disponen de enlaces no pueden ser contradictorias. Todas las teorías deben complementarse entre sí conformando (como un puzzle) una macroteoría.

Conocimiento social del grupo. El grupo debe disponer de un nivel de conocimiento superior al local en el que poder expresar conocimiento compartido, distribuido o común. Al mismo tiempo, dicho conocimiento social debe disponer de métodos de evaluación para definir acuerdos de decisión en el grupo de actores. Este nivel de conocimiento lo denominaremos conocimiento social.

3.1 Introducción

Para desarrollar el modelo de conocimiento del grupo de actores partimos del marco teórico de la Inteligencia Artificial.

Existen dos grandes tendencias de investigación en el campo de la IA. Estas dos líneas de enfoque obedecen a objetivos totalmente opuestos: por un lado el estudio de los procesos del pensamiento; por el otro, el estudio de los comportamientos. Ambas líneas a su vez, se dividen en dos posturas diferenciadas: la humana, que intenta modelar los comportamientos humanos; y la racional, basada en el concepto de una inteligencia ideal (Russell & Norvig, 1995).

De esta manera, la IA estudia los modelos computacionales que sirven para simular o formalizar las actividades inteligentes, entendiendo por actividades inteligentes [cognitivas (Cortés et al., 1995)] la percepción, el razonamiento o el aprendizaje, entre otras (Winston, 1994).

Se ha de tener en cuenta la frontera entre la IA y otras ramas de la ciencia, como son la Psicología o la Filosofía. El enfoque de la IA une las ramas de las Matemáticas y la Ingeniería para poder crear artefactos que actúen de manera inteligente.

Una vez introducidos en el marco de la IA, nuestro enfoque sigue la postura de los racionalistas, resumidas en la definición de (Charniak y McDermott, 1985):

“El estudio de las facultades mentales a través del uso de modelos computacionales”

A partir de la modelización de las distintas facultades mentales (cognitivas), el objetivo primordial es la formalización de una actuación racional, apoyada en lo que se denomina un Agente Inteligente, siendo éste el conjunto de componentes de Hardware y Software que es capaz de realizar una o varias actividades cognitivas determinadas.

Lo primero que debemos formalizar al hablar de un comportamiento racional en un agente es el concepto de conocimiento.

Hablar del conocimiento que posee un agente hace referencia a: a) el lenguaje que utiliza dicho agente para representar los conceptos que percibe de su entorno y; b) el significado que asigna a dichas representaciones.

El nivel introspectivo del conocimiento nos permite representar lo que el agente sabe que conoce o desconoce.

El nivel extensional, basado en la modularización del conocimiento, nos permite representar los límites del conocimiento del agente sobre un dominio, o la descomposición de un dominio en subdominios complementarios o jerarquizados.

El nivel distribuido, basado en las conexiones entre los conocimientos de un grupo de agentes, se puede tratar: a) como el nivel extensional de un conjunto de subdominios, cada uno correspondiente a un agente; b) como el nivel introspectivo del grupo.

En el presente capítulo estamos interesados principalmente en los niveles extensional y distribuido, sin embargo, encontramos necesaria una introducción del nivel introspectivo para avanzar las bases teóricas del modelo que mostraremos en el Capítulo 5, puesto que el concepto de

Situación Posible tiene una analogía directa con el de Mundo Posible.

3.2 Antecedentes

Ahora vamos a introducir los conceptos y teorías referentes a agentes inteligentes y al conocimiento (tanto al nivel introspectivo, el extensional como el distribuido): Agentes Inteligentes, Teoría de Mundos Posibles y Teoría del Contexto. Previamente, es conveniente realizar una contextualización del nuevo vocabulario que vamos a utilizar.

EML	PDC
Problema Existente	• Problema Existente/Estado Negativo
Problema Específico	• Problema Específico
Causa Directa	• Causa Directa
	• Causa Indirecta
Efecto Directo	• Efecto Directo
	• Efecto Indirecto
Grupo Actores	• Grupo Agentes
Actor	• Agente
	• Situación
	• Hecho
	• Regla
	• Axioma Deductivo
	• Teoría
	• Interpretación
	• Creencia Explícita
	• Motivación
Beneficiario Directo	• Beneficiario Directo
Beneficiario Indirecto	• Beneficiario Indirecto
Excluido	• Excluido
	• Conocimiento Comun
	• Conocimiento Distribuido
	• Conocimiento Compartido
Objetivo Especifico	Objetivo Especifico/Estado Positivo
Estrategia/Solucion	Plan/Solucion
	Tarea
Actividad	Acción
	• Estrategia Social
Acuerdo	• Acuerdo
	Compromiso
	Convenio
Factor Externo	Precondición
	Amenaza Posible
Factor Letal	Amenaza Inevitable
	Condición de Ejecución
	Amenaza de Ejecución Posible
	Amenaza de Ejecución Inevitable
Resultado	Efecto Necesario
	Efecto Disyuntivo
	Efecto Letal
	Situación Posible
	Entropía
	Contexto
	Tendencia Contexto

Tabla 3.1: Analogía nomenclaturas EML y PDC (I).

En la tabla 3.1 se muestra la analogía de la nomenclatura del EML con la nomenclatura de la PDC. Los conceptos que vamos a tratar en el presente capítulo están indicados con el signo •.

3.2.1 Agentes Inteligentes

El concepto de Agente Inteligente más difundido, dentro del campo de la Inteligencia Artificial, está definido por un sistema informático (Hardware y Software) que cumple las siguientes características (Wooldridge & Jennings, 1995):

Autonomía. Un agente actúa sin intervención humana, dispone de algún tipo de control sobre sus acciones y su estado interno.

Comportamiento Social. Un agente interactúa con otros agentes (artificiales o humanos) mediante un lenguaje de comunicación específico.

Reactividad. Un agente percibe su entorno y responde ante él, cambiando el estado del entorno y su propio estado interno.

Racionalidad. Un agente no se limita a actuar en respuesta a su entorno, es capaz de mostrar un comportamiento dirigido por sus objetivos.

Desde el enfoque de la psicología del comportamiento, un agente es una entidad creada para realizar una tarea o un conjunto de tareas (Goodwin, 1993). Con este punto de vista, cualquier característica de un agente debe ser definida a partir de la tarea y el entorno en el cual la tarea se realiza. La característica más importante es la de que el agente tenga éxito en su tarea.

Para nosotros, el enfoque “reactivo” no es el apropiado, ya que lo que queremos es tener un modelo de la interpretación que el agente realiza del entorno. Un Agente Inteligente debe poder ser descrito por una serie de características mentales, como son el conocimiento, la creencia o la intención, cuando lo que queremos es entender el comportamiento pasado y futuro del agente, y dicho comportamiento puede ser similar al de una persona (McCarthy, 1978). Desde este punto de vista, un Agente Inteligente es formalizado como un Sistema Intencional, capacitado con una serie de aptitudes: aptitudes de información y pro-aptitudes (Dennett, 1987).

Aptitudes de Información	Pro-Aptitudes
Creencia	Deseo
Conocimiento	Intencion
	Compromiso
	Eleccion
	...

Tabla 3.2: Aptitudes de un Agente Inteligente.

Desde nuestro punto de vista, las aptitudes de información son las que expresan el conocimiento del agente, mientras que las pro-aptitudes son las que explicitan su control. Ambos tipos de actitud están directamente relacionadas, ya que las intenciones se definen en base al conocimiento del agente, así como sus elecciones en base a las distintas alternativas que se le presentan

y las creencias que el agente tiene de su entorno. Los dos tipos de actitud están conectados causalmente (Maes, 1987).

Nuestro enfoque está en la línea de los denominados Agentes Deliberativos (Genesereth & Nilsson, 1987), éstos disponen de una representación explícita del entorno en un modelo simbólico, y realizan las decisiones a partir de un procesamiento lógico. Dichos agentes deben cumplir la siguiente característica (añadida a las previamente expuestas):

Predictividad. Un agente debe ser capaz de predecir los resultados de sus acciones a partir del conocimiento que tiene del estado actual del entorno.

Hasta aquí hemos visto la definición informal de lo que es un Agente Inteligente y las características que debe cumplir. En los próximos dos apartados vamos a analizar los antecedentes en lo referente a las actitudes de información que un agente puede disponer.

Las actitudes de información son aquellas que representan lo que un Agente Inteligente sabe acerca de su entorno, descritas al nivel de creencias (doxástico) o al de conocimientos (epistémico).

En el marco de esta tesis nos inclinamos por el enfoque doxástico, debido a que estamos proyectando y no ejecutando un plan de desarrollo. A partir de dicha restricción, el concepto de creencia es más apropiado que el de conocimiento. Una creencia es una evaluación a priori, no un conocimiento a posteriori.

3.2.2 Mundos Posibles

El modelo clásico de conocimiento y creencia es el modelo de los Mundos Posibles (Hintikka, 1962). La idea intuitiva bajo esta teoría es que entre un conjunto de situaciones alternativas (alternativas epistémicas), un agente conoce (cree) sólo aquellos hechos que son comunes a todas ellas. Por ejemplo, un agente puede pensar en dos situaciones simultáneas en las que el mundo se puede presentar: en una puede tener la gasolina del coche en reserva, en la otra a un tercio del depósito. Sin embargo, en ambas tener el nivel de aceite correcto.

En el momento de formalizar el modelo de los Mundos Posibles, lo primero que necesitamos es un lenguaje para representar las situaciones posibles, lo segundo, una semántica para evaluar la verdad o falsedad de las creencias sobre las situaciones representadas.

El lenguaje que necesitamos debe poder representar las situaciones del mundo, en forma de lógica proposicional, creídas por un grupo de agentes (el caso general). Dado un conjunto de proposiciones primitivas $\Phi = \{p, q, r, \dots\}$ y un grupo de m agentes, se define un lenguaje $L_{MP}(\Phi)$ como el conjunto mínimo conteniendo Φ , cerrado por la negación \neg , la conjunción \wedge , y el operador modal B_i , $i = 1, \dots, m$. De esta manera, si p y q son fórmulas de $L_{MP}(\Phi)$, $\neg p$, $p \wedge q$ y $B_i p$, también lo son ($B_i p$ se lee "el agente i cree p ").

La idea esencial en la semántica de los Mundos Posibles es que el conjunto de creencias de un agente corresponde a la extensión que él puede determinar. Es decir, en un mundo determinado, se le puede asociar un conjunto de mundos que, en concordancia con las creencias del agen-

te, podrían posiblemente representar el mundo real (Halpern & Moses, 1985). Entonces se puede expresar que el agente cree el hecho P , si P está presente en todos los mundos asociados, por otro lado, se puede decir que P es admisible en el caso de que, como mínimo en un mundo asociado, P no está presente.

Las estructuras de Kripke (Kripke, 1963) son la herramienta formal adecuada para dar significado al lenguaje $L_{MP}(\Phi)$. Una estructura de Kripke M se define por la tupla $(S, \pi, P_1, \dots, P_m)$, donde S es el conjunto de situaciones posibles, π es la asignación de valores de verdad a las proposiciones primitivas para cada situación posible $s \in S$, de tal manera que $\pi(s, p) \in \{\text{verdadero}, \text{falso}\}$ para cada situación s y proposición primitiva P , y P_i es la relación binaria de posibilidad para el agente i en S , para $i = 1, \dots, m$. Si $(s, s') \in P_i$ entonces la situación s' es una situación posible desde la situación s , que es la situación en la que se encuentra el agente i .

El concepto de situación que utilizamos aquí no representa una evolución temporal a partir de transiciones entre situaciones posibles. Dentro del presente marco de Mundos Posibles, cada situación posible hace referencia a un posible estado del mundo que el agente puede tener en cuenta.

En base a la estructura de Kripke M se define la relación de satisfacibilidad \models

$$M, s \models p \text{ sí } \pi(s, p) = \text{verdadero}$$

$$M, s \not\models p \text{ sí } \pi(s, p) = \text{falso}$$

$$M, s \models p \wedge q \text{ sí } M, s \models p \text{ y } M, s \models q$$

$$M, s \models B_i p \text{ sí } M, s' \models p \text{ para todo } s' \text{ que } (s, s') \in P_i$$

La mejor forma de entender el modelo de los Mundos Posibles es mediante un ejemplo: la Figura 3.1 muestra un grafo con tres situaciones posibles $S = \{s, s', s''\}$ para el agente 1. En la situación s el agente 1 cree la proposición p (leída como “el nivel de aceite es correcto”) ya que en las dos situaciones relacionadas s' y s'' p es verdadera. Sin embargo el agente 1 piensa que q (leída como “el deposito de gasolina está en reserva”) y r (leída como “el deposito está a un tercio”) son tan sólo admisibles en la situación s .

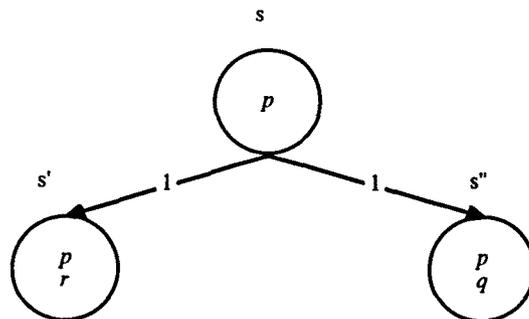


Figura 3.1: Grafo de Situaciones Posibles.

que formalmente lo podemos expresar como:

$$M, s \models p \wedge B_1 p \wedge \neg B_1 q \wedge \neg B_1 r$$

El modelo de los Mundos Posibles que hemos presentado nos permite representar lo que un agente cree y lo que no cree a partir de las situaciones posibles asociadas a la situación en la que él se encuentra. Otra manera de enfocar el modelo de los Mundos Posibles es interpretar las situaciones posibles como los efectos posibles de la ejecución de una acción. Desde este enfoque, un agente puede creer en un conjunto de efectos, los comunes a todas las situaciones generadas (el conjunto mínimo intersección de las situaciones), y pensar que el resto de efectos tan sólo son admisibles. Este es el enfoque que se utiliza en la Teoría de las Situaciones Posibles (Ginsberg, 1986), y que analizaremos en el Capítulo 5, cuando estudiemos los efectos de una acción.

Otro enfoque propuesto para la representación de las creencias de un agente, desde el mismo punto de vista que el modelo presentado en este capítulo, es el modelo sentencial (Konolige, 1984). El modelo sentencial se basa en que un agente dispone de un conjunto de creencias explícitas Δ_i , y un conjunto de axiomas deductivos R_i (no tiene porque ser un conjunto de axiomas sólido) conformando una teoría T_i . Entonces, la proposición p es satisfacible bajo la teoría T_i si $\Delta_i \vdash_{R_i} P$. En el siguiente apartado vamos a estudiar la denominada Teoría del Contexto, que se apoya en el enfoque sentencial.

3.2.3 Teoría del Contexto

La Teoría del Contexto parte del intento inicial de controlar el problema de la generalidad de una teoría mediante el tratamiento del conocimiento de un agente a nivel extensional (McCarthy, 1987), y como consecuencia, deber relacionar los distintos contextos (contextos específicos y contextos generales).

Como comentamos en la Introducción de éste capítulo, nosotros estamos interesados justamente en el nivel extensional del conocimiento, y específicamente, en el conocimiento distribuido a nivel extensional. Es decir, en el conocimiento repartido en un grupo de agentes, cada uno de ellos con una teoría, y éstas relacionadas entre sí de forma no contradictoria.

John McCarthy introduce en (McCarthy, 1993) y (McCarthy, 1994) el concepto de contexto como una entidad matemática abstracta sin intentar definirlo. El primer objetivo era enlazar axiomas de un contexto específico a otro que realice un menor número de asunciones; el segundo, asociar un contexto con una situación particular.

La formalización se basa en la utilización del predicado $esv(c, p)$, que describe que la proposición P es verdadera en el contexto c . Sin embargo, el predicado esv siempre necesita de un contexto externo (más general) para ser utilizado. Este contexto, denominado c^0 lo identificamos como el macrocontexto que contextualiza a todos los demás. Para entender mejor el concepto de contexto mostramos el siguiente ejemplo, sacado de (McCarthy, 1993):

$c^0 : esv(\text{contexto_de}(\text{"Historias Sherlock Holmes"}), \text{"Holmes es detective"})$

La función *valor* devuelve el contenido de un término dependiente de un contexto:

$$c0: \text{valor}(\text{contexto_de}(\text{"Historias Sherlock Holmes"}, \text{"mujeres de Holmes"}) = 0$$

McCarthy utiliza un procedimiento de salto entre contextos para poder transformar expresiones de uno a otro. Este procedimiento es similar al uso de las reglas de reflexión de (Giunchiglia et al., 1992a).

La utilidad más interesante para nosotros de la utilización de los contextos de McCarthy es para la representación de los estados mentales. El proceso se basa en usar un contexto externo que presenta las creencias explícitas de un agente. En el momento de tener que realizar un proceso de razonamiento, a partir de una pregunta realizada al agente, se puede entrar en el contexto interno, y una vez demostradas las causas de la pregunta, volver al contexto externo para explicitar que se trata de una creencia. El predicado $esv(c, p)$ se transforma en $cree(p)$ mediante $\forall p \text{ presente}(c, p) \rightarrow cree(p)$. Una modificación de este modelo del tipo $\forall R, O, p \text{ presente}(R, p) \rightarrow cree(O, p)$ será lo que necesitaremos para representar las creencias de un grupo de agentes $R_i, i = 1, \dots, m$, relacionados con un contexto externo O , denominado *Observador*².

El segundo intento en la utilización de los contextos, tenía como objetivo representar el conocimiento local de un agente mediante su extensión [lenguaje limitado, y/o creencias limitadas, y/o axiomas deductivos limitados (Giunchiglia et al., 1992)]. El concepto de contexto es el que define la teoría del agente a nivel extensional, y mediante el enlace entre contextos se consigue combinar las teorías de un grupo de agentes (reales).

A nivel formal, se define un contexto como el sistema $C = \langle L_c, T_c \rangle$, siendo L_c el lenguaje del contexto, y T_c su conjunto de teoremas. $L_c = Ap(W_c, P_c)$ es el conjunto mínimo de lenguaje generado mediante el conjunto de reglas sintácticas W_c aplicado al vocabulario del contexto P_c ; $T_c = Ap(\Delta_c, \Omega_c)$ es el conjunto mínimo de teoremas generado mediante el conjunto de axiomas deductivos Δ_c aplicado a los axiomas del contexto Ω_c .

Definir el contexto C limitado, significa que sus deficiencias pueden pertenecer a cuatro niveles distintos: incompletitud en el vocabulario, incompletitud en la sintaxis, incompletitud en los axiomas, incompletitud en las reglas de decucción.

Mediante la utilización de un contexto C , se define el conocimiento de un agente real como el conjunto de creencias explícitas (Levesque, 1984) de ese agente. A diferencia de las implícitas, que serían aquellas que pertenecen a un agente ideal, y éste, con un lenguaje, reglas sintácticas, axiomas y reglas deductivas completas respecto a un dominio dado.

²En la misma línea que el grupo de investigación de Razonamiento Automático del IRST. Trento.

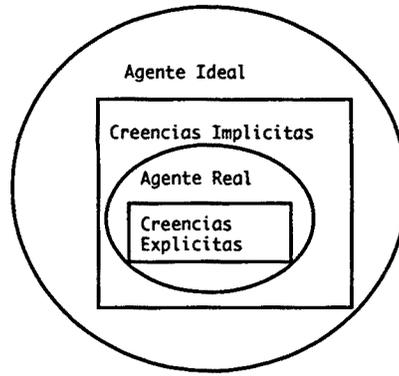


Fig. 3.2: Agente real vs. agente ideal.

Para representar las creencias del agente real necesitamos de un contexto externo que haga de observador del agente. La formalización de los dos agentes, el real y el observador, se realiza mediante un sistema MBR (Giunchiglia et al., 1992).

Un sistema MBR es un sistema de Múltiples Contextos (MC) $MBR = \langle \{O, R\}, \Delta_{OR} \rangle$ en donde O es el contexto del *Observador*, R el contexto del *Agente Real*, y Δ_{OR} son las reglas puente entre ambos contextos. O está definido por el contexto $O = \langle L_O, T_O \rangle$. El lenguaje de O dispone del conjunto de fórmulas P_O , en el que se pueden construir fórmulas del tipo $RB("P")$ para todo P en L_R . $T_O = Ap(\Delta_O, \Omega_O)$ es completo y sólido. Por su lado, el agente real está definido por el contexto $R = \langle L_R, T_R \rangle$. R puede tener algún tipo de incompletitud. Las reglas puente Δ_{OR} se definen por:

$$\frac{\langle p, R \rangle}{\langle RB("P"), O \rangle} R_{arriba} \quad y \quad \frac{\langle RB("P"), O \rangle}{\langle p, R \rangle} R_{abajo}$$

Es aconsejable que el observador sea completo y sólido, es decir, que sea un observador ideal, mediante $L_{arriba} = L_{abajo} = L_R$. Lo que interesa es disponer de un observador ideal sobre un agente real.

En el caso de representar a un grupo de agentes, el sistema se compone de m agentes R_i , $i = 1, \dots, m$. Cada agente está formado por un contexto $R_i = \langle L_i, T_i \rangle$. Puede existir una interacción entre diferentes agentes, que es la capacidad de que un agente pueda deducir hechos, o demostrar causas, justamente porque uno o más agentes han deducido, o demostrado, otros hechos. De manera que un grupo de agentes se puede formalizar como un sistema de Múltiples Contextos $Grupo = \langle R_i, RP \rangle$, donde RP es el conjunto de reglas puente que relaciona las distintas teorías de los agentes (Giunchiglia et al., 1993).

La principal ventaja que ofrece la formalización de Giunchiglia es que cumple con tres de los cuatro atributos que hemos definido como necesarios en la formalización de un grupo de agentes: razonamiento local, enlace de teorías y coherencia entre ellas (Giunchiglia & Ghidini, 1997).

3.3 Conocimiento Cooperativo

En este apartado vamos a definir todos los tipos de razonamiento que necesitamos para modelar el conocimiento de un grupo de agentes. Esto nos permitirá definir en el Apartado 3.4 un modelo para la fase de *Identificación de los problemas* en Planificación de Desarrollo Cooperativo.

Todos los tipos de razonamiento los definiremos a partir de los sistemas individuales (teoría de cada agente), y de la relación que se establece entre estos sistemas: teorías locales, disyunción de teorías, colaboración de teorías.

El último tipo de conocimiento, denominado social, está relacionado con el comportamiento del grupo, no con los conocimientos del dominio del problema que cada agente dispone. Para definirlo, recurriremos al concepto de Agente Social.

3.3.1 Razonamiento Local

Para formalizar el conocimiento de un agente debemos partir de una conceptualización del mundo, también denominada teoría del dominio (Dean et al., 1995), que el agente realiza de un dominio y sus relaciones (Russell & Norvig, 1995), también llamado cuerpo de conocimiento (Cortés et al., 1995), el conjunto de objetos que se presumen importantes en el proceso del mundo que queremos formalizar, y las interrelaciones entre estos objetos (Genesereth & Nilsson, 1987).

De esta manera, observamos que cualquier Sistema de Representación del Conocimiento $SRC = \langle CC, CCR, c \rangle$ se forma de dos partes: el cuerpo de conocimiento y el cuerpo de conocimiento de representación, donde c es la correspondencia entre $CC = \langle M, R \rangle$ y $CCR = \langle M^*, R^* \rangle$, siendo:

M el conjunto de objetos representado (dominio).

R las relaciones del conjunto de objetos representado.

M^* las posibles representaciones del dominio (universo de discurso).

R^* las relaciones representables (funciones y relaciones).

Se dice que el cuerpo de conocimiento es adecuado ontológicamente (Russell & Norvig, 1995), o metafísicamente (McCarthy, 1969), cuando los objetos del dominio y sus relaciones reflejan de forma adecuada la naturaleza de la realidad. Éste es el problema más difícil de resolver en un SRC , ya que hace referencia al modelo que creemos tener y queremos representar de la realidad. Este problema siempre se presenta en los casos en los que disponemos de distintos modelos de una misma faceta de la realidad y éstos se contradicen. No es propiamente un problema ontológico cuando éstos modelos se complementan (localidad del conocimiento), o se inscriben unos en otros (generalidad del conocimiento).

Junto a la adecuación ontológica, cualquier *SRC* debe cumplir cuatro propiedades importantes: adecuación representacional, adecuación inferencial, eficiencia inferencial y eficiencia adquisicional (Rich, 1980). Las dos primeras están relacionadas con el componente epistemológico del conocimiento, y las dos segundas, con el componente heurístico (McCarthy, 1969).

Adecuación representacional. La capacidad de representar y tratar todas las clases de conocimiento que deben ser manipulables (complementados, inscritos) en un dominio.

Adecuación inferencial. La capacidad de manipular las estructuras representativas de manera que se puedan derivar nuevas, correspondiente al nuevo conocimiento.

Eficiencia inferencial. La capacidad de incorporar información adicional, en un nivel superior a la estructura objeto (metaconocimiento), para dirigir mejor los mecanismos de inferencia.

Eficiencia adquisicional. La capacidad de incorporar nueva información con facilidad.

Teniendo en cuenta estas cuatro propiedades y la adecuación ontológica, la conceptualización de un agente debe ser coherente con el modelo que tenemos de la realidad, debe disponer de un lenguaje que sea adecuado al nivel representacional e inferencial, y ha de disponer de un metaconocimiento y las herramientas que hagan fácil la adquisición de nuevo conocimiento.

Partiendo de que deseamos modelar el conocimiento parcial que un agente tiene de su contexto, la conceptualización del agente puede ser limitada, limitación tan sólo al nivel de los hechos que conoce, como al de las reglas que los conectan. Las causas del conocimiento parcial no pueden ser incoherencias al nivel ontológico, deficiencias en la adecuación representacional y adecuación inferencial, o limitaciones en la eficiencia inferencial.

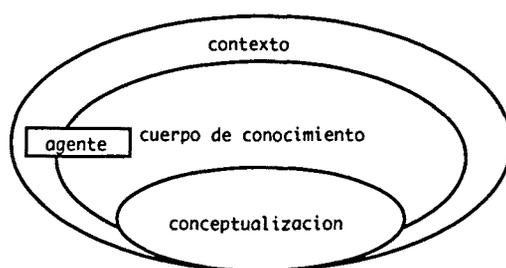


Fig. 3.3: Relación entre el contexto y la conceptualización de un agente.

Ahora podemos definir la conceptualización del agente de manera que sea sólida y que al mismo tiempo permita relacionarla con otras conceptualizaciones de otros agentes que disponen de distintos conocimientos parciales. La idea intuitiva es que entre las diversas conceptualizaciones se consigue el cuerpo de conocimiento total del modelo que el grupo de agentes tiene de su contexto.

El agente A dispone de una conceptualización de su contexto $C = \langle L_A, B_A \rangle$, donde L_A es el lenguaje del agente, B_A es el conjunto de creencias explícitas del agente. La componente heurística se definirá al nivel meta, permitiéndonos así decidir a conveniencia su implementación declarativa o procedural.

$L_A = Ap(RS_A, P_A, C_A)$ es el conjunto mínimo de lenguaje generado a partir de la aplicación de las reglas sintácticas RS_A sobre las proposiciones P_A y las conectivas lógicas C_A del lenguaje. $B_A = Ap(RD_A, H_A, R_A)$ es el conjunto mínimo de creencias generado a partir de la aplicación de las reglas deductivas RD_A sobre los hechos H_A que el agente conoce y las reglas R_A que los relacionan.

Lenguaje L_A .

- El conjunto de proposiciones P_A es:
 - Las constantes lógicas *Verdadero* y *Falso*.
 - Las proposiciones primitivas tales como *camion_estropeado*.
- El conjunto de conectivas C_A es:
 - El operador n-ario de conjunción \wedge .
 - El operador unario de la negación \neg .
 - El operador binario de la implicación \rightarrow .
 - El operador n-ario $()$.
- El conjunto de reglas sintácticas RS_A es:

Sentencia: Sentencia Atómica | Sentencia Compuesta

Sentencia Atómica: Constante Lógica | Proposición Primitiva

Constante Lógica: *Verdadero* | *Falso*

Proposición Primitiva: *Cadena de Símbolos*

Sentencia Compuesta: (Sentencia) | Sentencia Conectiva Sentencia |

\neg Sentencia

Conectiva: \wedge | \rightarrow

- La prioridad en las conectivas (de mayor a menor) es: \neg , \wedge , \rightarrow .

Creencias B_A .

- El conjunto de hechos H_A del agente son los hechos que el agente percibe del contexto a nivel local. El agente no puede percibir todos los hechos del contexto. Por ejemplo:

carretera_NII_en_mal_estado

- El conjunto de reglas R_A del agente son las reglas que el agente sabe que conectan a los diferentes hechos del contexto, desde su percepción local. Por ejemplo:

carretera_NII_en_mal_estado \wedge neumaticos_camion_1_gastados \rightarrow
pinchazo_de_camion_1

- El conjunto de reglas deductivas RD_A del agente son las reglas de inferencia que le permiten al agente sacar deducciones preservando la verdad, es decir, deducciones que son necesariamente ciertas dado que las creencias que el agente dispone son ciertas. A este tipo de reglas deductivas se las denomina sólidas.

La relación entre la validez de una sentencia con la base de creencias del agente se establece a partir de lo que se denomina un modelo, siendo éste el estado del mundo en que la sentencia se valora como verdadera bajo una interpretación determinada. De esta manera, una sentencia es válida respecto a una base de creencias cuando la sentencia es verdadera para todos los modelos de la base de creencias y dicha interpretación³. La relación entre la satisfacibilidad de una sentencia con la base de creencias del agente se basa en que al menos existe un modelo para dicha sentencia e interpretación en la base de creencias del agente.

Cuando una sentencia se deduce como satisfacible de un conjunto de creencias se escribe $BC \vDash P$. Cuando la sentencia se deriva (a nivel sintáctico) de un conjunto de creencias, o base de conocimiento, mediante una regla deductiva RD se escribe $BC \vdash_{RD} P$. Por lo tanto, el agente debe derivar y deducir dicha sentencia de su base de creencias. Las reglas deductivas se aplican como patrones sobre las sentencias de la base de creencias del agente. Por ejemplo: Modus Ponens, Eliminación de la Doble Negación o Resolución.

³ Algunos autores denominan a las sentencias válidas tautologías.

Ahora podemos mostrar de forma más desarrollada las relaciones que se deben establecer entre el contexto y la conceptualización del agente para que éste disponga de un conocimiento parcial.

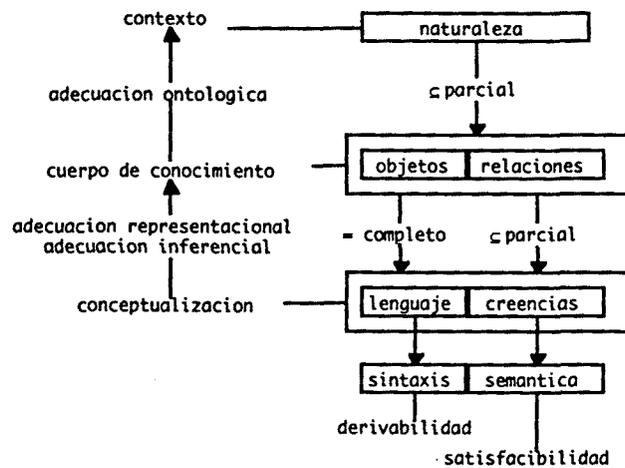


Fig. 3.4: Adecuaciones entre el contexto, cuerpo de conocimiento y la conceptualización de un agente.

A partir de la Figura 3.4 observamos como el cuerpo de conocimiento del agente (dominio y relaciones) es siempre un subconjunto de la realidad; tan sólo tenemos en cuenta aquellos objetos y relaciones que nos parecen importantes para el modelo de la naturaleza que queremos representar. La conceptualización dispone de un lenguaje completo (universo de discurso), en relación a los objetos y relaciones que queremos expresar. Las creencias del agente (hechos y reglas) son un subconjunto de los objetos y relaciones del cuerpo de conocimiento, coherente, debido a la adecuación ontológica del cuerpo de conocimiento. Las reglas deductivas permiten la derivabilidad de las sentencias, y los modelos de la base de creencias la satisfacibilidad de las deducciones representadas por dichas sentencias.

Una vez definido lo que es el conocimiento parcial de un agente, representado por el contexto A , el agente debe poder realizar las demostraciones de los problemas existentes que él percibe del contexto del proyecto. El agente realiza dicha demostración en función de las reglas deductivas que dispone, aplicadas a las creencias y reglas de su base de conocimiento, que representan el modelo del contexto del proyecto. A este proceso lo denominamos Razonamiento Local.

$$RL_i(p) \equiv B_A(A_i) \models p$$

El proceso que utiliza el agente para demostrar el problema existente identificado es el de Reducción del Objetivo (Dean et al., 1995), también denominado Encadenamiento Regresivo (Winston, 1991). Para ello, las reglas se representan en forma de Clausulas de Horn. Una Clausula de Horn se formula por una sentencia compuesta, que es un conjunto de antecedentes (premisas), y un consecuente (conclusión) como $p_1 \wedge \dots \wedge p_n \rightarrow q$.

El proceso de Reducción del Objetivo se basa en probar los antecedentes (causas) de la regla que tiene como consecuente el problema existente identificado por el agente, es decir, los antecedentes de la regla se convierten en los objetivos que se deben demostrar.

3.3.2 Razonamiento Distribuido

Ahora vamos a definir el proceso de razonamiento de un grupo de agentes. Para ello partimos de la misma postura que (Beneceretti et al., 1996), en donde se formula que el proceso de razonamiento sucede a nivel local en los agentes, con mínimas interacciones entre ellos, utilizando contextos como la herramienta formal que representa el razonamiento local. De esta manera, formalizamos cada agente mediante un contexto, conectándolos mediante un conjunto de reglas puente, y observados por un contexto que accede a cada uno de los agentes.

Formulamos el sistema $GA = \langle O, A_i, RP_{GA}, R_{O\&GA} \rangle$, donde O es el observador del grupo; A_i es cada agente, siendo $i = 1, \dots, n. (n = N^\circ \text{ Agentes})$; RP_{GA} son las reglas puente que enlazan las teorías de los agentes; y $R_{O\&GA}$ son las reflexiones entre el observador y los agentes.

Cada agente A_i está definido por un contexto como en el subapartado 3.3.1. El observador O está definido mediante el contexto $O = \langle L_O, B_O \rangle$, donde $L_O = Ap(RS_O, C_O, L_A)$ es el lenguaje mínimo generado a partir de la aplicación de las reglas sintácticas RS_O del observador O sobre sus conectivas C_O y el lenguaje L_A generado por cada agente A_i . $B_O = Ap(R_O, B_A)$ es el conjunto mínimo de creencias generadas a partir de la reflexión R_O del observador aplicadas sobre las creencias explícitas B_A de cada agente A_i . Las reflexión del observador es:

$$\frac{\langle A_i, \alpha \rangle}{\langle B_i(\alpha), O \rangle} R_{O_i}$$

indicando que el observador O sabe que el agente A_i cree α debido a que α pertenece al conjunto de creencias explícitas B_A del agente A_i . Remarcamos como el observador O es completo, ya que $L_A \supset L_O$.

Las reglas puente entre los agentes son las reglas que conectan los diferentes contextos, su representación es:

$$\frac{\langle A_i, \alpha \rangle}{\langle A_j, \beta \rangle} R_{ji}$$

indicando que el agente A_j puede derivar la sentencia β sí el agente A_i ha podido derivar la sentencia α . Este formalismo nos permite tratar el razonamiento a nivel local y añadir las interacciones necesarias entre los distintos agentes.

El proceso que sigue el grupo de agentes para demostrar los problemas existentes identificados es el definido en el subapartado 3.3.1, cada agente intenta demostrar el conjunto de problemas existentes que él percibe del contexto.

A partir de la definición del grupo de agentes GA formulamos los distintos tipos de razonamiento del grupo. El primero es el caso en el que no existen reglas puente entre los diferentes contextos del grupo de agentes $RP_{GA} = \emptyset$; a este conocimiento lo denominamos Razonamiento Distribuido. En la Figura 3.5 se muestra el esquema del RD en el grupo de agentes GA .

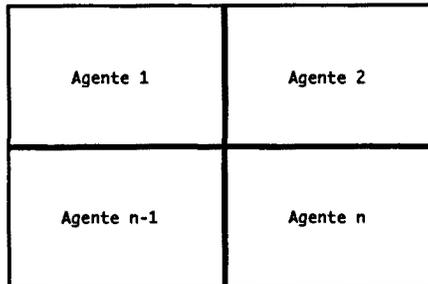


Fig. 3.5: Razonamiento Distribuido en el grupo de agentes GA.

Como el conjunto de reglas puente entre los distintos contextos de los agentes es el conjunto vacío, el conjunto de problemas existentes puede ser demostrado total o parcialmente, sin embargo, no puede ser demostrado ningún problema mediante colaboración de contextos.

$$RD(p) \equiv \exists A_i \quad B_A(A_i) \neq p$$

3.3.3 Razonamiento Colaborativo

El segundo caso es el que el conjunto de reglas puente entre los contextos conectan como mínimo a dos agentes $Card(RP_{GA}) \geq 1$; a este tipo de razonamiento lo denominamos Razonamiento Colaborativo. En la Figura 3.6 se muestra el esquema del RC.

El concepto de Razonamiento Colaborativo es similar al de Conocimiento Implícito de (Genesereth & Nilsson, 1987). El grupo de agentes tiene Conocimiento Implícito de P cuando $\{q_i\} \neq P$ y, para cada q_i hay un agente A_i que $RL(q_i)$. Si tenemos en cuenta que en la demostración de P sólo pueden participar un subconjunto de agentes del grupo de agentes $\{A_i\} \subseteq GA$ en el caso de que éstos estén conectados por sus correspondientes reglas puente, la colaboración de las distintas teorías de los agentes genera el conjunto $\{q_i\}$.

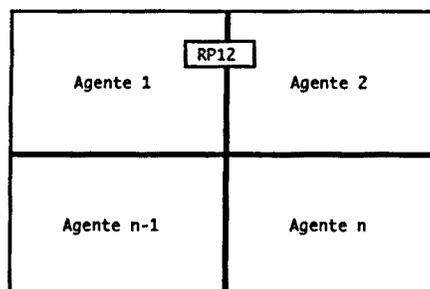


Fig. 3.6: Razonamiento Colaborativo en el grupo de agentes GA.

$$RC(p) \equiv \{q_i\} \models p$$

y

$$\forall q_i \exists A_j \quad B_A(A_j) \models q_i$$

Se tiene que hacer diferencia entre la cantidad de reglas puente $RP_{RC} \subseteq RP_{GA}$ utilizadas en la demostración y el número de contextos que están en colaboración, éste es el número de agentes que colaboran en la demostración, independientemente del número de colaboraciones que se realizan entre dos agentes A_i y A_j .

$$A(RP_{RC}) \cap A(GA)$$

3.3.4 Problema Existente y Motivación

Los agentes del grupo GA identifican un conjunto de problemas existentes en el contexto del proyecto, siendo un problema existente el estado negativo del contexto para el agente que lo identifica. Este estado negativo se representa por la conjunción de un conjunto de hechos.

Como el agente desconoce el resto de estados negativos identificados por otros agentes del grupo, sólo puede intentar buscar las causas del estado negativo a partir de su base de creencias, mediante Razonamiento Local o Razonamiento Colaborativo con otros agentes.

El objetivo de cada agente en la fase de *Identificación de los Problemas* es encontrar las causas de los problemas existentes identificados. El conjunto de justificaciones para la anulación de cada problema existente identificado por el agente definen la motivación de por qué éste interviene en el proyecto. En la Figura 3.7 se muestra la relación entre ambos conceptos.

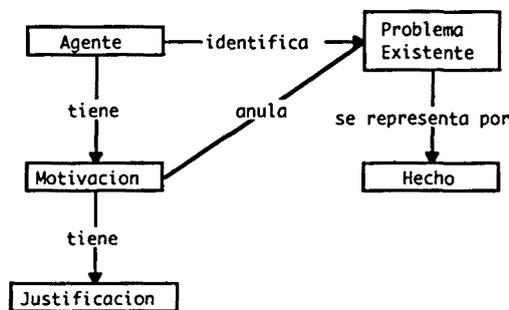


Fig. 3.7: Relación entre Problema Existente y Motivación.

3.3.5 Tipos de Causas

Una vez obtenida la lista de causas de cada problema existente mediante argumentación (Parsons, 1996), el grupo de agentes GA debe reorganizar dicha lista para encontrar, en el caso que exista, el problema central del proyecto, o sinó una lista priorizada de problemas centrales.

Encontramos dos tipos de causas en el conjunto de demostraciones del grupo de agentes:

Causa aislada. Es aquella causa de un problema existente, identificada mediante el razonamiento local del agente identificador, o mediante razonamiento colaborativo. Este tipo de causa puede ser directa o indirecta.

Causa común. Es aquella causa de dos o más problemas existentes, identificada por por dos o más agentes del grupo, bien mediante razonamiento local (RL) o colaborativo (RC). Este tipo de causa puede ser directa o indirecta.

La lista priorizada de problemas centrales generada es una lista que puede tener un único problema, en el caso de ser la causa común a todos los problemas existentes; o una lista de problemas, pudiendo ser causas aisladas o comunes. En el segundo caso, la lista de problemas se ordena de forma decreciente por el número de agentes que han identificado cada causa. Mediante esta representación, disponemos de una primera aproximación de la importancia de cada problema para el grupo de agentes.

$$Pr\ oblem\ as\ Centrales = \{ \{ problema \ n^{\circ} \ Agentes \}, \dots \}$$

3.3.6 Comportamiento Social

La identificación exhaustiva de los problemas centrales no es la estrategia óptima en un Proyecto de Desarrollo. El conjunto de problemas centrales debe ser evaluado por cada uno de los agentes que intervienen en el proyecto, de cara a obtener un consenso para el compromiso conjunto de todos los agentes.

Lo primero que debemos definir es la categoría de los agentes que intervienen en un proyecto de desarrollo, ésta es la característica más diferenciada de otro tipo de proyectos. Partiendo de los trabajos de Jennings y sus colaboradores (Kalenka & Jennings, 1995; Jennings & Campos, 1997) se definen tres categorías de agentes en la Resolución Cooperativa de Problemas (CPS) a partir de las actitudes que los agentes toman en la resolución del problema. En (Kalenka & Jennings, 1995) se definen las actitudes de la Tabla 3.3.

Actitud
Responsable
Servicial
Cooperativa

Tabla 3.3: Actitudes en la Resolución Cooperativa de Problemas.

No se ha de confundir el concepto de Agente Responsable con el de Agente Racional Individual, el primero asume una serie de obligaciones respecto al grupo (el papel que le toca en él) y nunca cuestiona dichas responsabilidades, el segundo tan sólo actúa para obtener un beneficio individual. Tampoco significa que el Agente Responsable ayude siempre a otros agentes del

grupo, ésta actitud es propia de un Agente Servicial o Cooperativo. La diferencia entre el Agente Servicial y el Cooperativo es que el primero ayuda a otros agentes del grupo de manera incondicional sin esperar nada a cambio, mientras que el segundo realiza la ayuda sí puede recibir una asistencia recíproca del agente al que ayuda en el futuro.

Las tres categorías presentadas hacen referencia a la actitud de cada agente durante la fase de ejecución, es decir, a las distintas actitudes que se pueden tomar durante el proceso dinámico de la resolución del problema. Desde nuestro punto de vista, en la fase de *Identificación de los Problemas* la categoría más apropiada es la de Agente Responsable, sin embargo necesitamos definir cuál es la estrategia de grupo que se debe utilizar para asignar a cada agente su papel, es decir, la relación entre cada agente y el grupo en sí.

Para poder definir la relación entre cada agente y el grupo necesitamos de un nivel de conocimiento que esté por encima del nivel de conocimiento de cada agente, denominado Nivel Social (Newell, 1982). En este nivel de conocimiento es donde se representan los conceptos relacionados con los aspectos sociales del grupo: cooperación, acuerdo, coordinación, etc.

Los aspectos sociales que nos interesan en la fase de *Identificación de los Problemas* son los de *Acuerdo* y *Consenso*, relacionados con la intención de resolver los problemas centrales identificados, definiendo entre los dos la Estrategia Social del grupo de agentes. Para ello, definimos nueve parámetros que nos permitirán representar las pérdidas o ganancias de la resolución de un problema central, conjuntamente al nivel de cooperación entre los agentes.

Beneficio Agente. Es el beneficio individual que recibe un agente en el caso de resolverse un problema central definido.

Beneficio Grupo. Es el beneficio que reciben el resto de agentes del grupo al resolverse el problema central definido.

Pérdida Agente. Es la pérdida que sufre el agente al no resolverse el problema central definido.

Pérdida Grupo. Es la pérdida que sufre el resto de agentes al no resolverse el problema central definido.

Coste Agente. Es el coste que tiene un agente para resolver el problema central definido.

Coste Grupo. Es el coste que tiene el grupo para resolver el problema central definido.

Acuerdo. Es la relación entre los beneficios y las pérdidas (individuales y del grupo) que se deben cumplir para cada problema central definido.

Consenso. El acuerdo definido debe cumplirse para cada problema central definido y para todos los agentes que intervienen en el proyecto.

Estrategia Social. Es la manera en que el grupo de agentes utiliza las funciones de Acuerdo y Consenso.

En el marco de Proyectos de Desarrollo (PDs) definimos el *Acuerdo* de un agente para resolver un problema de la siguiente manera: existe acuerdo para un agente y un problema central definido P_i siempre que, existiendo beneficio o pérdida del grupo o bien de algún agente, se cumpla que el beneficio del grupo sea mayor que el coste de ese agente o el beneficio de ese agente sea mayor que el coste del grupo para resolver el problema central definido.

$$\begin{aligned} Acuerdo(PC_i, A_i) = & (BG(PC_i) \vee PG(\neg PC_i) \vee BA(PC_i, A_i) \vee PA(\neg PC_i, A_i)) \\ & \wedge (BG(PC_i) \geq CA(PC_i, A_i) \vee BA(PC_i, A_i) \geq CG(PC_i)) \end{aligned}$$

habiendo Consenso sólo para aquellos problemas identificados en los que exista Acuerdo en todos los agentes involucrados con el problema.

$$Cons(GA, PC) = \bigcup_{PC_i \in PC} \left[\bigwedge_{A_i \in GA} Acuerdo(PC_i, A_i) \right]$$

De esta manera la Estrategia Social se define mediante un Acuerdo entre agentes con un comportamiento Social y un Consenso en el grupo sobre los problemas centrales definidos. Denominamos Social al comportamiento de los agentes porque éstos aceptan los problemas que generan un beneficio para el grupo o para cada agente superior a las pérdidas que sufren, y al mismo tiempo, cada agente puede aceptar un problema que a él no le repercute y éste es beneficioso para el grupo, en cambio, nunca aceptará un problema que aunque le sea beneficioso resolverlo, genere pérdidas al grupo.

Mediante la Estrategia Social obtenemos una categorización denominada Agente Social Responsable, esta denominación obedece a que el agente tiene un comportamiento Social que le mueve a ser Responsable con el grupo de agentes. El concepto de Agente Social Responsable parte del trabajo de (Jennings & Campos, 1996), sin embargo, en dicho trabajo no quedan claros los tipos de actitud al no definirse de forma precisa la relación entre el Beneficio Agente y Beneficio Grupo. En nuestro trabajo definimos el Beneficio Grupo como el beneficio de todos los agentes del grupo excluyendo al agente que acepta el problema. En la Tabla 3.4 se muestra las evaluaciones de la función Acuerdo.

(BG OR BA	OR	PG OR PA)	AND ((BG' ≥ CA)	OR	(BA ≥ CG'))
V	V	V	V	V	V
V	V	V	V	V	F
V	V	V	V	F	V
V	V	V	F	F	F
V	V	F	V	V	V
V	V	F	V	V	F
V	V	F	V	F	V
V	V	F	F	F	F
F	V	V	V	V	V
F	V	V	V	V	F
F	V	V	V	F	V
F	V	V	F	F	F
F	F	F	F	V	V
F	F	F	F	V	F
F	F	F	F	F	V
F	F	F	F	F	F

Tabla 3.4: Evaluación de la función de Acuerdo.

Se puede observar en la Tabla 3.4 como los modelos con el patrón gris (filas 4, 8 y 12:16) son aquellos en los que no se ha llegado a un acuerdo entre el grupo de agentes. Por otro lado, las filas 1:3 muestran las situaciones favorables para el grupo y cada agente; 5:7 muestran la actitud social del grupo o cada agente; y las filas 9:11 la ineficacia de la situación para el grupo o cada agente. Las columnas 1 y 3 muestran la relación de beneficio/pérdida para el grupo y cada agente; y las columnas 5 y 7 muestran el nivel de cooperatividad entre cada agente y el grupo. A partir de los dos parámetros identificados (relación beneficio/pérdida y cooperación grupo/agente) podemos establecer la siguiente clasificación en la Tabla 3.5:

Beneficio-Perdida = +	Cooperacion	Actitud
Grupo & Agente	Grupo	: Social
Agente	Grupo	: Social Cooperativa
Grupo	Grupo	: Grupo
Grupo & Agente	Agente	: Social
Agente	Agente	: Individual
Grupo	Agente	: Social Cooperativa
Grupo & Agente	Grupo & Agente	: Social
Agente	Grupo & Agente	: Cooperativa
Grupo	Grupo & Agente	: Cooperativa

Tabla 3.5: Clasificación de las actitudes sociales.

Actitud Social. Se presenta cuando el grupo y el agente ganan de la cooperación que realiza uno de ellos, o las pérdidas de no mejorar no se pueden permitir.

Actitud Social Cooperativa. Se presenta cuando uno de los miembros gana de la cooperación del otro.

Actitud Cooperativa. Se presenta cuando los dos miembros cooperan para el beneficio de uno de ellos.

Actitud Individual. Se presenta cuando un agente se beneficia él solo sin la cooperación del grupo.

Actitud de Grupo. Se presenta cuando el grupo se beneficia sin la necesidad de la cooperación del agente.

En el siguiente apartado vamos a ver un ejemplo en el que se utilizan los conceptos introducidos en el presente. Nuestra intención es poder comparar el modelo propuesto en la fase de *Identificación de los Problemas* con el modelo de la metodología EML (el modelo ZOPP es un subconjunto del EML) y demostrar las mejoras introducidas en la Planificación de Desarrollo Cooperativo.

3.4 La Identificación de los Problemas (Ejemplo)

Para entender mejor los conceptos introducidos en el apartado 3.3 presentamos un ejemplo sacado de (IUDC, 1993). El ejemplo utilizado presenta todas las fases de un Proyecto de Desarrollo, y lo utilizaremos a lo largo de todo el trabajo. En el presente capítulo nos referiremos únicamente a la fase de *Generación del Árbol de Problemas*, incluido en el denominado *Taller EML*.

En el ejemplo original, la ciudad de Mango sufre una serie de problemas relacionados con la seguridad viaria, debido a un aumento de los accidentes de los autobuses, causando retrasos y algunas muertes. Los actores que se encuentran involucrados son una compañía de autobuses, los pasajeros y los conductores de la compañía. Los actores se reúnen en un *Taller EML* y definen los problemas de manera jerárquica mediante el denominado *Árbol de Problemas*, llegando a la conclusión de que el problema central es el número alarmante de accidentes de autobuses que se sufren. Posteriormente buscan las causas del problema central y consensuan que éstas son que los conductores no tienen suficiente cuidado al conducir, que los autobuses se encuentran en malas condiciones y que las carreteras están en mal estado.

Al conjunto de agentes del ejemplo original hemos añadido un agente denominado Administración Local para representar el enfoque de ésta en el proyecto. Dicha adición nos permite mostrar la carencia de enfoque global del método EML.

3.4.1 Identificación de los Agentes

Los agentes involucrados en el ejemplo son:

- A1. Compañía de Autobuses
GC: 1
- A2. Pasajeros
GC: 0.75
- A3. Conductores
GC: 1
- A4. Administración Local
GC: 1
- 0. Agente Planificador

3.4.2 Definición de las Teorías

Cada agente dispone de una teoría, que representa el conocimiento parcial que dispone del contexto del proyecto, compuesta por unos hechos, reglas y reglas puente que lo conectan con las teorías de otros agentes.

A1: Compañía de Autobuses

HECHOS:

- H1: (Antiguedad_Autobuses Alto)
- H2: (Num_Accidentes Alto)
- H3: (Costes_Taller_Reparacion Alto)

REGLAS:

- R1: ((NO (Antiguedad_Autobuses GC))
IMPLICA
(Seguridad_Autobuses GC) Muy_Alto)
- R2: ((NO (Seguridad_Autobuses GC))
IMPLICA
(Averias_Autobuses GC) Muy_Alto)
- R3: ((Num_Accidentes GC)
IMPLICA
(Autobuses_Fuera_de_Servicio GC) Muy_Alto)
- R4: ((Averias_Autobuses GC)
IMPLICA
(Autobuses_Fuera_de_Servicio GC) Muy_Alto)
- R5: ((Costes_Taller_Reparacion GC) AND
(Autobuses_Fuera_de_Servicio GC)
IMPLICA
(Costes_Reparacion_Autobuses GC) Muy_Alto)
- R6: ((Colapsos_Circulatorios GC)
IMPLICA
(Retrasos GC) Muy_Alto)
- R7: ((Num_Accidentes GC)
IMPLICA
(Retrasos GC) Muy_Alto)
- R8: ((Num_Accidentes GC)
IMPLICA
(Num_Victimas GC) Muy_Alto)
- R9: ((Num_Victimas GC)
IMPLICA
(Costes_Indemnizaciones GC) Muy_Alto)
- R10: ((Retrasos GC)
IMPLICA
(Reduccion_Ingresos_Pasajeros GC) Muy_Alto)
- R11: ((Autobuses_Fuera_de_Servicio GC)
IMPLICA
(Colapsos_Circulatorios GC) Normal)
- R12: ((Vehiculos_en_Circulacion GC)
IMPLICA
(Colapsos_Circulatorios GC) Muy_Alto)

REGLAS PUENTE 4 :

RP1: (Vehiculos_en_Circulacion GC)
DEPENDE DE: (Vehiculos_en_Circulacion† GC)
DEL AGENTE: A4

A2: Pasajeros

HECHOS:

H1: (Num_Accidentes Alto)

REGLAS:

R1: ((Num_Accidentes GC)
IMPLICA
(Num_Victimas GC) Muy_Alto)
R2: ((Num_Accidentes GC)
IMPLICA
(Retrasos GC) Alto)
R3: ((Colapsos_Circulatorios GC)
IMPLICA
(Retrasos GC) Muy_Alto)

REGLAS PUENTE:

RP1: (Colapsos_Circulatorios GC)
DEPENDE DE: (Colapsos_Circulatorios† GC)
DEL AGENTE: A4

A3: Conductores

HECHOS:

H1: (Num_Accidentes Alto)
H2: (Aplicacion_Reglamento Bajo)

REGLAS:

R1: ((Num_Accidentes GC)
IMPLICA
(Expedientes_Negativos GC) Muy_Alto)
R2: ((NO (Aplicacion_Reglamento GC))
IMPLICA
(Expedientes_Negativos GC) Muy_Alto))
R3: ((NO (Seguridad_Autobuses GC))
IMPLICA
(Victimas_Conductores GC) Alto)
R4: ((Num_Accidentes GC)
IMPLICA
(Victimas_Conductores GC) Muy_Alto)
R5: ((NO (Antiguedad_Autobuses GC))
IMPLICA
(Seguridad_Autobuses GC) Muy_Alto)

REGLAS PUENTE:

RP1: (Antiguedad_Autobuses GC)
DEPENDE DE: (Antiguedad_Autobuses† GC)
DEL AGENTE: A1

[†] Indica que el lenguaje del agente colaborador puede ser distinto del lenguaje del agente que contiene la regla puente.

A4: Administración Local

HECHOS:

- H1: (Num_Accidentes Alto)
- H2: (Capacidad_Hospitales Bajo)
- H3: (Vehiculos_en_Circulacion Alto)
- H4: (Carreteras_en_mal_estado Alto)

REGLAS:

- R1: ((Num_Accidentes GC) AND
(NO (Capacidad_Hospitales GC))
IMPLICA
(Colapsos_Hospitales GC) Muy_Alto)
- R2: ((Vehiculos_en_Circulacion GC) AND
(Num_Accidentes GC)
IMPLICA
(Colapsos_Circulatorios GC) Muy_Alto)
- R3: ((Carreteras_en_mal_estado GC)
IMPLICA
(Num_Accidentes GC) Muy_Alto)

3.4.3 Identificación de los Problemas Existentes

Cada agente identifica una serie de problemas (estados negativos del contexto) que debe demostrar mediante su teoría, o en colaboración con las de otros agentes.

A1: Compañía de Autobuses

PROBLEMAS EXISTENTES:

- P1: (Costes_Reparacion_Autobuses Alto)
- P2: (Reduccion_Ingresos_Pasajeros Alto)
- P3: (Costes_Indemnizaciones Alto)

A2: Pasajeros

PROBLEMAS EXISTENTES:

- P1: (Num_Victimas Alto)
- P2: (Retrasos Alto)

A3: Conductores

PROBLEMAS EXISTENTES:

- P1: (Expedientes_Negativos Alto)
- P2: (Victimas_Conductores Alto)

A4: Administración Local

PROBLEMAS EXISTENTES:

- P1: (Colapsos_Circulatorios Alto)
- P2: (Colapsos_Hospitales Alto)

3.4.4 Búsqueda de las Causas

En el proceso de búsqueda de las causas, cada agente intenta demostrar los problemas existentes que ha identificado, utilizando su teoría, o la combinación de teorías con las que está relacionado, mediante un Sistema de Argumentación (Elvang-Gøransson et al., 1993; Krause et al., 1995; Fox et al., 1996). Dicho SA le permitirá a cada agente evaluar la influencia del conocimiento parcial que tiene del contexto sobre cada problema existente que ha identificado. Posteriormente, el agente planificador O , que es el observador de los agentes involucrados en el proyecto, compara todas las argumentaciones realizadas por los diferentes agentes para averiguar qué causas de los problemas existentes son comunes o individuales.

Para cada problema existente el proceso de argumentación se divide en dos fases: Construcción de Argumentaciones y Combinación de Argumentaciones. En la primera, el agente busca las distintas argumentaciones de las que se pueden derivar el problema existente, apuntando los hechos y reglas que se han utilizado. En la segunda, las combina para averiguar su influencia global sobre el problema existente.

Una Argumentación se representa por el problema identificado P , el conjunto de hechos y reglas que lo demuestran CD , y la evaluación Ev que el agente asigna a dicho conjunto de demostración.

$$ARG_{ij} = \langle P_i, CD_j, Ev \rangle$$

La función de Evaluación se basa en el razonamiento aproximado (Negota, 1985), utilizando términos lingüísticos en la valoración de certeza de una proposición. El dominio de valores utilizado en el conjunto de evaluaciones CE es:

$$CE = \{\text{Muy Bajo}=0, \text{Bajo}=0.25, \text{Normal}=0.5, \text{Alto}=0.75, \text{Muy Alto}=1\}$$

Cada Argumentación es un posible modelo de la sentencia que representa el problema central. La propagación de los Grados de Certeza (Trillas, 1980), o Grados de Credibilidad GC (Paniagua, 1995), sobre el conjunto de reglas y hechos que demuestran la sentencia se realiza mediante las funciones de propagación:

$$GC(\text{Hecho}) \in \text{ConjuntoEvaluaciones}$$

$$GC(\text{Consecuente}, \text{Re gla}) = \text{Min}(\text{Aplicar}(GC, \text{Antecedentes}(\text{Re gla}))) * GC(\text{Re gla})$$

$$GC(\text{Arg}) = GC(PC(\text{Arg}), \text{Primer}(\text{CD}(\text{Arg})))$$

$$GC(\text{Consecuente}, (\text{Arg}1, \dots, \text{Arg}N)) = \text{Max}(GC(\text{Arg}1), \dots, GC(\text{Arg}N))$$

A1: Compañía de Autobuses

ARGUMENTACIONES:

P1: (Costes_Reparacion_Autobuses Alto)

ARG1-1: (P1, (R5, R4, R2, R1, H1, H3), 0.75)
ARG1-2: (P1, (R5, R3, H2, H3), 0.75)

GC(P1) = Max(0.75, 0.75) = 0.75 (Alto)

P2: (Reduccion_Ingresos_Pasajeros Alto)

ARG2-1: (P2, (R10, R7, H2), 0.75)
ARG2-2: (P2, (R10, R6, R12, RP1), 0.75)
ARG2-3: (P2, (R10, R6, R11, R3, H2), 0.37)
ARG2-4: (P2, (R10, R6, R11, R4, R2, R1, H1), 0.37)

GC(P2) = Max(0.75, 0.75, 0.37, 0.37) = 0.75 (Alto)

P3: (Costes_Indemnizaciones Alto)

ARG3-1: (P3, (R9, R8, H2), 0.75)

GC(P3) = Max(0.75) = 0.75 (Alto)

A2: Pasajeros

ARGUMENTACIONES:

P1: (Num_Victimas Alto)

ARG1-1: (P1, (R1, H1), 0.75)

GC(P1) = Max(0.75) = 0.75 (Alto)

P2: (Retrasos Alto)

ARG2-1: (P2, (R2, H1), 0.56)
ARG2-2: (P2, (R3, RP1), 0.75)

GC(P2) = Max(0.56, 0.75) = 0.75 (Alto)

A3: Conductores

ARGUMENTACIONES:

P1: (Expedientes_Negativos Alto)

ARG1-1: (P1, (R1, H1), 0.75)
ARG1-2: (P1, (R2, H2), 0.75)

GC(P1) = Max(0.75, 0.75) = 0.75 (Alto)

P2: (Victimas_Conductores Alto)

ARG2-1: (P2, (R4, H1), 0.75)
ARG2-2: (P2, (R3, R5, RP1), 0.56)

GC(P2) = Max(0.75, 0.56) = 0.75 (Alto)

A4: Administración Local

ARGUMENTACIONES:

P1: (Colapsos_Circulatorios Alto)

ARG1-1: (P1, (R2, H3, H1), 0.75)

ARG1-2: (P1, (R2, R3, H4, H3), 0.75)

GC(P1) = Max(0.75, 0.75) = 0.75 (Alto)

P2: (Colapsos_Hospitales Alto)

ARG2-1: (P2, (R1, H1, H2), 0.75)

ARG2-2: (P2, (R1, R3, H4, H2), 0.75)

GC(P2) = Max(0.75, 0.75) = 0.75 (Alto)

Una vez realizadas las demostraciones de los diferentes problemas existentes, y habiendo analizado la influencia global de todas las argumentaciones correspondientes sobre cada uno de ellos, el agente planificador *O* debe averiguar cuáles son las causas comunes o individuales.

Para realizar la búsqueda el agente planificador debe recibir las argumentaciones de los diferentes agentes en forma de implicaciones entre hechos. Ya que cada argumentación es un modelo que satisface el problema identificado desde el conocimiento parcial del agente que lo argumenta. Podemos entender cada argumentación como una cadena de implicaciones que se cumplen desde la interpretación del agente. Mediante esta representación el agente planificador puede encontrar las uniones e intersecciones de las causas.

Para poder ponderar las teorías de los diferentes agentes utilizamos el Grado de Credibilidad de cada agente como función de agregación.

A1: Compañía de Autobuses

MODELOS:

```
MOD1-1: (Costes_Reparacion_Autobuses
         <- Autobuses_Fuera_de_Servicio AND
         Costes_Taller_Reparacion
         <- Num_Averias
         <- NO Seguridad_Autobuses
         <- Antiguedad_Autobuses)
MOD1-2: (Costes_Reparacion_Autobuses
         <- Autobuses_Fuera_de_Servicio AND
         Costes_Taller_Reparacion
         <- Num_Accidentes)
MOD2-1: (Reduccion_Ingresos_Pasajeros
         <- Retrasos
         <- Num_Accidentes)
MOD2-2: (Reduccion_Ingresos_Pasajeros
         <- Retrasos
         <- Colapsos_Circulatorios
         <- Vehiculos_en_Circulacion)
MOD2-3: (Reduccion_Ingresos_Pasajeros
         <- Retrasos
         <- Colapsos_Circulatorios
         <- Autobuses_Fuera_de_Servicio
         <- Num_Accidentes)
MOD2-4: (Reduccion_Ingresos_Pasajeros
```

```
<- Retrasos
<- Colapsos_Circulatorios
<- Autobuses_Fuera_de_Servicio
<- Averias_Autobuses
<- NO Seguridad_Autobuses
<- Antiguedad_Autobuses)
```

```
MOD3-1: (Costes_Indeminizaciones
<- Num_Victimas
<- Num_Accidentes)
```

A2: Pasajeros

MODELOS:

```
MOD1-1: (Num_Victimas
<- Num_Accidentes)
MOD2-1: (Retrasos
<- Num_Accidentes)
MOD2-2: (Retrasos
<- Colapsos_Circulatorios)
```

A3: Conductores

MODELOS:

```
MOD1-1: (Expedientes_Negativos
<- Num_Accidentes)
MOD1-2: (Expedientes_Negativos
<- NO Aplicacion_Reglamento)
MOD2-1: (Victimas_Conductores
<- Num_accidentes)
MOD2-2: (Victimas_Conductores
<- NO Seguridad_Autobuses
<- Antiguedad_Autobuses)
```

A4: Administración Local

MODELOS:

```
MOD1-1: (Colapsos_Circulatorios
<- Num_Accidentes AND
Vehiculos_en_Circulacion)
MOD1-2: (Colapsos_Circulatorios
<- Num_Accidentes AND
Vehiculos_en_Circulacion
<- Carreteras_en_mal_estado)
MOD2-1: (Colapsos_Hospitales
<- NO Capacidad_hospitales AND
Num_Accidentes)
MOD2-2: (Colapsos_Hospitales
<- NO Capacidad_Hospitales AND
Num_Accidentes
<- Carreteras_en_mal_estado)
```

A la hora de calcular las intersecciones entre los modelos se debe realizar la búsqueda entre cada modelo de un agente con el resto de modelos de los demás agentes e ir eliminando modelos

a medida que se va avanzando en la búsqueda. Como la intersección es conmutativa, el número de comparaciones se va reduciendo considerablemente durante el proceso de búsqueda.

El proceso requiere un tratamiento previo de los modelos, consistente en la utilización de la regla EC (Eliminación de la Conjunción), para poder comparar los hechos de cada conjunción de forma separada.

A1: MOD1-1

INTERSECCION con A2:

MOD1-1: ()

MOD2-1: ()

MOD2-2: ()

INTERSECCION con A3:

MOD1-1: ()

MOD1-2: ()

MOD2-1: ()

MOD2-2: (NO Seguridad_Autobuses, Antiguedad_Autobuses)

INTERSECCION con A4:

MOD1-1: ()

MOD1-2: ()

MOD2-1: ()

MOD2-2: ()

A1: MOD1-2

INTERSECCION con A2:

MOD1-1: (Num_Accidentes)

MOD2-1: (Num_Accidentes)

MOD2-2: ()

INTERSECCION con A3:

MOD1-1: (Num_Accidentes)

MOD1-2: ()

MOD2-1: (Num_Accidentes)

MOD2-2: ()

INTERSECCION con A4:

MOD1-1: (Num_Accidentes)

MOD1-2: (Num_Accidentes)

MOD2-1: (Num_Accidentes)

MOD2-2: (Num_Accidentes)

A1: MOD2-1

INTERSECCION con A2:

MOD1-1: (Num_Accidentes)

MOD2-1: (Retrasos, Num_Accidentes)

MOD2-2: (Retrasos)

INTERSECCION con A3:

MOD1-1: (Num_Accidentes)

MOD1-2: ()

MOD2-1: (Num_Accidentes)

MOD2-2: ()

INTERSECCION con A4:

MOD1-1: (Num_Accidentes)

MOD1-2: (Num_Accidentes)

MOD2-1: (Num_Accidentes)

MOD2-2: (Num_Accidentes)

A1: MOD2-2
INTERSECCION con A2:
MOD1-1: ()
MOD2-1: (Retrasos)
MOD2-2: (Retrasos, Colapsos_Circulatorios)
INTERSECCION con A3:
MOD1-1: ()
MOD1-2: ()
MOD2-1: ()
MOD2-2: ()
INTERSECCION con A4:
MOD1-1: (Colapsos_Circulatorios, Vehiculos_en_Circulacion)
MOD1-2: (Colapsos_Circulatorios, Vehiculos_en_Circulacion)
MOD2-1: ()
MOD2-2: ()

A1: MOD2-3
INTERSECCION con A2:
MOD1-1: (Num_Accidentes)
MOD2-1: (Retrasos, Num_Accidentes)
MOD2-2: (Retrasos, Colapsos_Circulatorios)
INTERSECCION con A3:
MOD1-1: (Num_Accidentes)
MOD1-2: ()
MOD2-1: (Num_Accidentes)
MOD2-2: ()
INTERSECCION con A4:
MOD1-1: (Colapsos_Circulatorios, Num_Accidentes)
MOD1-2: (Colapsos_Circulatorios, Num_Accidentes)
MOD2-1: (Num_Accidentes)
MOD2-2: (Num_Accidentes)

A1: MOD2-4
INTERSECCION con A2:
MOD1-1: ()
MOD2-1: (Retrasos)
MOD2-2: (Retrasos, Colapsos_Circulatorios)
INTERSECCION con A3:
MOD1-1: ()
MOD1-2: ()
MOD2-1: ()
MOD2-2: (NO Seguridad_Autobuses, Antiguedad_Autobuses)
INTERSECCION con A4:
MOD1-1: (Colapsos_Circulatorios)
MOD1-2: (Colapsos_Circulatorios)
MOD2-1: ()
MOD2-2: ()

A1: MOD3-1
INTERSECCION con A2:
MOD1-1: (Num_Victimas, Num_Accidentes)
MOD2-1: (Num_Accidentes)
MOD2-2: ()
INTERSECCION con A3:
MOD1-1: (Num_Accidentes)
MOD1-2: ()
MOD2-1: (Num_Accidentes)

MOD2-2: ()
INTERSECCION con A4:
MOD1-1: (Num_Accidentes)
MOD1-2: (Num_Accidentes)
MOD2-1: (Num_Accidentes)
MOD2-2: (Num_Accidentes)

A2: MOD1-1
INTERSECCION con A3:
MOD1-1: (Num_Accidentes)
MOD1-2: ()
MOD2-1: (Num_Accidentes)
MOD2-2: ()
INTERSECCION con A4:
MOD1-1: (Num_Accidentes)
MOD1-2: (Num_Accidentes)
MOD2-1: (Num_Accidentes)
MOD2-2: (Num_Accidentes)

A2: MOD2-1
INTERSECCION con A3:
MOD1-1: (Num_Accidentes)
MOD1-2: ()
MOD2-1: (Num_Accidentes)
MOD2-2: ()
INTERSECCION con A4:
MOD1-1: (Num_Accidentes)
MOD1-2: (Num_Accidentes)
MOD2-1: (Num_Accidentes)
MOD2-2: (Num_Accidentes)

A2: MOD2-2
INTERSECCION con A3:
MOD1-1: ()
MOD1-2: ()
MOD2-1: ()
MOD2-2: ()
INTERSECCION con A4:
MOD1-1: (Colapsos_Circulatorios)
MOD1-2: (Colapsos_Circulatorios)
MOD2-1: ()
MOD2-2: ()

A3: MOD1-1
INTERSECCION con A4:
MOD1-1: (Num_Accidentes)
MOD1-2: (Num_Accidentes)
MOD2-1: (Num_Accidentes)
MOD2-2: (Num_Accidentes)

A3: MOD1-2
INTERSECCION con A4:
MOD1-1: ()
MOD1-2: ()
MOD2-1: ()
MOD2-2: ()

A3: MOD2-1
 INTERSECCION con A4:
 MOD1-1: (Num_Accidentes)
 MOD1-2: (Num_Accidentes)
 MOD2-1: (Num_Accidentes)
 MOD2-2: (Num_Accidentes)

A3: MOD2-2
 INTERSECCION con A4:
 MOD1-1: ()
 MOD1-2: ()
 MOD2-1: ()
 MOD2-2: ()

INTERSECCIONES:

Num_Accidentes:
 (A1, A2, A1, A2, A1, A3, A1, A3, A1, A4, A1, A4, A1, A4, A1, A4, A1, A2, A1, A2, A1, A3, A1, A3, A1, A4, A1, A4, A1, A4, A1, A4, A1, A4, A1, A2, A1, A2, A1, A3, A1, A3, A1, A4, A1, A4, A1, A4, A2, A3, A2, A3, A2, A4, A2, A4, A2, A4, A2, A4, A2, A4, A2, A3, A2, A4, A2, A4, A2, A4, A3, A4) \cap GA = (A1, A2, A3, A4)

Colapsos_Circulatorios:
 (A1, A2, A1, A4, A1, A4, A1, A2, A1, A4, A1, A4, A1, A2, A1, A4, A1, A4, A2, A4, A2, A4) \cap GA = (A1, A2, A4)

(NO Seguridad_Autobuses):
 (A1, A3, A1, A3) \cap GA = (A1, A3)

Antiguedad_Autobuses:
 (A1, A3, A1, A3) \cap GA = (A1, A3)

Retrasos:
 (A1, A2, A1, A2) \cap GA = (A1, A2)

Num_Victimas:
 (A1, A2) \cap GA = (A1, A2)

Vehiculos_en_Circulacion:
 (A1, A4, A1, A4) \cap GA = (A1, A4)

La lista de causas es (Num_Accidentes, Colapsos_Circulatorios, NO Seguridad_Autobuses, Antiguedad_Autobuses, Retrasos, Num_Victimas, Vehiculos_en_Circulacion), añadiéndole la causa intersección de la argumentación ARG2-1 del agente A4 (NO Capacidad_Hospitales). La primera causa interviene en todas las argumentaciones de todos los problemas identificados por el agente A1, menos en ARG1-1, ARG2-2 y ARG2-4; de todas las argumentaciones de A2 menos en la ARG2-2; de todas las de A3, menos en ARG1-2 y ARG2-2; y de todas las realizadas por A4. La segunda interviene en la argumentación ARG2-2 del agente A2. La tercera, consecuencia de la cuarta, en las argumentaciones ARG1-1 y ARG2-4 del agente A1. La quinta es consecuencia de la primera o segunda causas. La sexta es causa de la primera. La séptima es

causa de la segunda. La octava es causa del problema existente Colapsos_Hospitales. De esta manera, la lista definitiva de problemas centrales es:

```

((Num_Accidentes (GC (Max (* Alto 1)
                        (* Alto 0.75)
                        (* Alto 1)
                        (* Alto 1)))
 (A1, A2, A3, A4)),
 (Antiguedad_Autobuses (GC (Max (* Alto 1)
                                (* Alto 1)))
 (A1, A3)),
 (Vehiculos_en_Circulacion (GC (Max (* Alto 1)
                                    (* Alto 1)))
 (A1, A4)),
 (NO Capacidad_Hospitales (GC (* Alto 1)
                              (A4)))

```

3.4.5 Estrategia Social del Grupo

En el último paso de la fase de *Identificación de los Problemas* el grupo de agentes GA debe decidir qué problemas se intentarán resolver y eliminar aquellos que no. El proceso de elección se realiza a partir de la función de acuerdo del grupo y mediante consenso. Para la evaluación de los beneficios, pérdidas y costes de los agentes utilizamos el dominio de CE.

PC: Num_Accidentes

```

BA(A1, Num_Accidentes) = Muy_Alto
BA(A2, Num_Accidentes) = Muy_Alto
BA(A3, Num_Accidentes) = Muy_Alto
BA(A4, Num_Accidentes) = Alto
PA(A1, NO Num_Accidentes) = Muy_Alto
PA(A2, NO Num_Accidentes) = Muy_Alto
PA(A3, NO Num_Accidentes) = Muy_Alto
PA(A4, NO Num_Accidentes) = Alto
CA(A1, Num_Accidentes) = Alto
CA(A2, Num_Accidentes) = Bajo
CA(A3, Num_Accidentes) = Alto
CA(A4, Num_Accidentes) = Alto

```

PC: Antiguedad_Autobuses

```

BA(A1, Antiguedad_Autobuses) = Muy_Alto
BA(A2, Antiguedad_Autobuses) = Muy_Alto
BA(A3, Antiguedad_Autobuses) = Muy_Alto
BA(A4, Antiguedad_Autobuses) = Alto
PA(A1, NO Antiguedad_Autobuses) = Muy_Alto
PA(A2, NO Antiguedad_Autobuses) = Muy_Alto
PA(A3, NO Antiguedad_Autobuses) = Muy_Alto
PA(A4, NO Antiguedad_Autobuses) = Alto
CA(A1, Antiguedad_Autobuses) = Muy_Alto
CA(A2, Antiguedad_Autobuses) = Muy_Bajo
CA(A3, Antiguedad_Autobuses) = Bajo
CA(A4, Antiguedad_Autobuses) = Muy_Bajo

```

PC: Vehiculos_en_Circulacion

BA(A1, Vehiculos_en_Circulacion) = Muy_Alto
 BA(A2, Vehiculos_en_Circulacion) = Muy_Alto
 BA(A3, Vehiculos_en_Circulacion) = Muy_Alto
 BA(A4, Vehiculos_en_Circulacion) = Muy_Alto
 PA(A1, NO Vehiculos_en_Circulacion) = Muy_Alto
 PA(A2, NO Vehiculos_en_Circulacion) = Muy_Alto
 PA(A3, NO Vehiculos_en_Circulacion) = Muy_Alto
 PA(A4, NO Vehiculos_en_Circulacion) = Muy_Alto
 CA(A1, Vehiculos_en_Circulacion) = Bajo
 CA(A2, Vehiculos_en_Circulacion) = Bajo
 CA(A3, Vehiculos_en_Circulacion) = Bajo
 CA(A4, Vehiculos_en_Circulacion) = Alto

PC: NO Capacidad_Hospitales

BA(A1, NO Capacidad_Hospitales) = Normal
 BA(A2, NO Capacidad_Hospitales) = Alto
 BA(A3, NO Capacidad_Hospitales) = Alto
 BA(A4, NO Capacidad_Hospitales) = Muy_Alto
 PA(A1, Capacidad_Hospitales) = Normal
 PA(A2, Capacidad_Hospitales) = Alto
 PA(A3, Capacidad_Hospitales) = Alto
 PA(A4, Capacidad_Hospitales) = Muy_Alto
 CA(A1, NO Capacidad_Hospitales) = Bajo
 CA(A2, NO Capacidad_Hospitales) = Bajo
 CA(A3, NO Capacidad_Hospitales) = Bajo
 CA(A4, NO Capacidad_Hospitales) = Muy_Alto

Acuerdo (Num_Accidentes)							
AG:	((BG OR BA))	OR	((PG OR PA))	AND	((BG ≠ CA))	OR	((BA ≠ CG))
A1	(3.75/4),1	V	(3.75/4),1	V	2.75 ± 0.75	V	1 ± 1.75
A2	(3.75/4),1	V	(3.75/4),1	V	2.75 ± 0.25	V	1 ± 2.25
A3	(3.75/4),1	V	(3.75/4),1	V	2.75 ± 0.75	V	1 ± 1.75
A4	(3.75/4),0.75	V	(3.75/4),0.75	V	3 ± 0.75	V	0.75 ± 1.75

Tabla 3.6: Acuerdo del problema central “Número de Accidentes”.

Acuerdo (AntigüedadAutobuses)							
AG:	((BG OR BA))	OR	((PG OR PA))	AND	((BG ≠ CA))	OR	((BA ≠ CG))
A1	(3.75/4),1	V	(3.75/4),1	V	2.75 ± 1	V	1 ± 0.25
A2	(3.75/4),1	V	(3.75/4),1	V	2.75 ± 0	V	1 ± 1.25
A3	(3.75/4),1	V	(3.75/4),1	V	2.75 ± 0.25	V	1 ± 1
A4	(3.75/4),0.75	V	(3.75/4),0.75	V	3 ± 0	V	0.75 ± 1.25

Tabla 3.7: Acuerdo del problema central “Antigüedad Autobuses”.

Acuerdo (Vehiculos_en_Circulacion)							
AG:	((BG OR BA))	OR	((PG OR PA))	AND	((BG ≠ CA))	OR	((BA ≠ CG))
A1	(4/4),1	V	(4/4),1	V	3 ± 0.25	V	1 ± 1.25
A2	(4/4),1	V	(4/4),1	V	3 ± 0.25	V	1 ± 1.25
A3	(4/4),1	V	(4/4),1	V	3 ± 0.25	V	1 ± 1.25
A4	(4/4),1	V	(4/4),1	V	3 ± 0.75	V	1 ± 0.75

Tabla 3.8: Acuerdo del problema central “Vehículos en Circulación”.

	Acuerdo(NOCapacidad_Hospitales)						
AG	((BG OR BA)	OR	(PG OR PA))	AND	((BG ≥ CA)	OR	(BA ≥ CG))
A1	(3/4),0.5	V	(3/4),0.5	V	2.5 ≥ 0.25	V	0.5 ≥ 1.5
A2	(3/4),0.75	V	(3/4),0.75	V	2.25 ≥ 0.25	V	0.75 ≥ 1.5
A3	(3/4),0.75	V	(3/4),0.75	V	2.25 ≥ 0.25	V	0.75 ≥ 1.5
A4	(3/4),1	V	(3/4),1	V	2 ≥ 1	V	1 ≥ 0.75

Tabla 3.9: Acuerdo del problema central "No Capacidad en Hospitales".

Consenso(GA, PC) = (PC1, PC2, PC3, PC4)

El consenso del grupo acepta resolver todos los problemas centrales definidos. En la siguiente fase de "Definición de Objetivos" el grupo de agentes GA utiliza el conjunto PC para definir los objetivos del proyecto. El tratamiento presente de consenso le permite al grupo de agentes eliminar problemas centrales que no son beneficiosos, o que requieren una carga de cooperación desproporcionada.

3.5 Conclusiones

En este capítulo hemos ido desarrollando un modelo de conocimiento para un sistema de multi-agentes en el que cada agente dispone de un conocimiento parcial del contexto. La herramienta formal para definir el conocimiento parcial de cada agente es el contexto; formado por un lenguaje específico del agente, unas reglas sintácticas, una base de creencias compuesta por hechos y reglas lógicas, y finalmente unas reglas deductivas que le permiten realizar deducciones o demostraciones. Al mismo tiempo, cada agente puede enlazar su teoría con las de otros agentes mediante las reglas puente.

El grupo de agentes identifica una serie de problemas existentes en el contexto, para poder encontrar sus causas, comunes o individuales. Y finalmente, definir los problemas centrales del proyecto. El uso del razonamiento aproximado nos permite definir evaluaciones subjetivas (valuación) de los hechos y reglas que utilizan los agentes. La herramienta que utilizan los agentes para la demostración de cada problema existente es la reducción del objetivo, unida a un sistema de argumentación con múltiples contextos (contexto = agente), permitiéndonos analizar la influencia de todos los posibles modelos que permiten derivar un problema determinado.

La utilización de un agente planificador, observador del grupo de agentes, nos permite buscar las intersecciones de hechos entre las distintas argumentaciones que realizan los agentes para demostrar los diferentes problemas existentes.

La definición de un nivel social de conocimiento a partir de una estrategia social, compuesta por una función de acuerdo y una regla de consenso, nos permite modelar las distintas relaciones de sociabilidad y grado de cooperación entre los componentes del grupo. Como resumen, podemos indicar las siguientes características del modelo:

Conocimiento Parcial. El conocimiento de un agente se define por un contexto, compuesto por un lenguaje y una base de creencias. Siendo el primero el conjunto mínimo de senten-

cias generadas a partir de las reglas sintácticas del contexto aplicadas sobre las proposiciones primitivas del lenguaje. Siendo la segunda el conjunto mínimo de creencias generadas a partir de la combinación de los hechos y reglas lógicas enlazadas mediante las reglas deductivas del contexto.

Sistema Multi-Agentes. El grupo de agentes está definido por un conjunto de contextos, en el que se encuentran los diferentes actores del proyecto y un agente observador. El agente observador se conecta a los distintos agentes mediante las reglas de reflexión del sistema. Los agentes conectan sus teorías mediante las reglas puente que disponen cada uno de ellos.

Tipos de Razonamiento. A partir de las diferentes relaciones entre las teorías de los contextos se definen tres tipos de razonamiento: local, distribuido y colaborativo.

Sistema de Argumentación. El modelo que utiliza cada agente para averiguar las causas de un problema existente y la influencia global de éstas sobre el problema se basa en un sistema de argumentación.

Tipos de Causas. Mediante la búsqueda de intersecciones entre las causas de los problemas existentes se establecen dos tipos de causas diferenciadas: individual y común.

Conocimiento Social. El grupo de agentes selecciona qué problemas resolver a partir de una estrategia social, compuesta por una función de acuerdo que se debe aplicar en consenso con todos los agentes involucrados.

Capítulo 4

Planificación Cooperativa

En el presente capítulo tenemos como objetivos: 1º) ampliar el modelo propuesto en el capítulo anterior para resolver la fase de *Definición de Objetivos*; 2º) desarrollar el modelo de planificación de las tareas (grandes fases) del proyecto.

Como comentamos en el Capítulo 2, el principal problema relacionado con la fase de *Definición de Objetivos* es el mismo que la de su fase previa, el conocimiento parcial en el grupo de actores (agentes). Por lo que la única ampliación necesaria es la de poder representar los conceptos de Objetivo y Objetivo Conjunto, para poder relacionarlos con un único agente o un subgrupo del colectivo de agentes.

Por otro lado, también comentado en el Capítulo 2, el problema más importante en la fase de *Generación de Planes Alternativos* es la falta de Comportamiento Social en el grupo de actores, característica principal de los proyectos de desarrollo. En este caso, son necesarios la definición de un modelo social que permita al grupo adquirir un Compromiso sobre las Tareas asignadas y definir un Convenio que las monitorice en la *Fase de Viabilidad*, así como la definición de un modelo de planificación abstracta en un sistema multi-agentes.

Del mismo modo que hemos hecho en el Capítulo 3, definimos un conjunto de características que consideramos necesarias para los objetivos del presente capítulo.

Objetivos individuales y conjuntos. El conjunto de objetivos del proyecto puede estar compuesto por objetivos individuales o conjuntos indistintamente.

Intenciones individuales y conjuntas. Cada agente puede tener intenciones individuales o conjuntas con otros agentes del grupo. Una intención es el compromiso mútuo (individual o conjunto) de realizar una acción/plan que resuelve el problema del agente/s.

Planes abstractos. La naturaleza de los planes alternativos para los distintos objetivos del proyecto es de nivel abstracto en nivel de especificidad de las acciones, que se definen por tareas.

Comportamiento determinista de las tareas. Las tareas se tratan de manera determinista en relación con sus precondiciones, condiciones de ejecución y efectos. Este enfoque per-

mite buscar el máximo de planes alternativos al no tener en cuenta su viabilidad.

Compromiso y convenio de las tareas. Una vez definidos los distintos planes alternativos, compuestos por tareas, el grupo de agentes debe de llegar a un compromiso de realización, eliminando aquellos que no lo permitan. Éstos serán los que serán evaluados en la fase de *Cálculo de Viabilidad*.

4.1 Introducción

Para ampliar el modelo de un grupo de agentes con conocimiento parcial desarrollado en el Capítulo 3, debemos analizar lo que en el capítulo anterior hemos denominado las pro-aptitudes en un agente inteligente.

Siguiendo la misma línea que en el capítulo anterior, utilizaremos al agente observador para indicar las intenciones, objetivos individuales y objetivos conjuntos del grupo de agentes.

El siguiente paso es el desarrollo del modelo de planificación, éste modelo ha de tener en cuenta que el espacio de búsqueda será el de planes parciales, de esta manera podremos utilizar la estrategia de mínimo compromiso.

El tercer paso es la integración del proceso de planificación de los planes alternativos abstractos con las pro-aptitudes de los agentes relacionadas con los acuerdos, compromisos y convenios del grupo.

Los antecedentes de cada uno de estos temas los vamos a analizar en el siguiente apartado. Los conceptos relacionados con las pro-aptitudes de un agente se basa en las mismas referencias del Capítulo 3; los conceptos de compromiso, acuerdo y convenio están relacionados con lo que se denomina Resolución Cooperativa de Problemas; y los conceptos relacionados con la planificación se ubican en lo que se denomina Planificación Parcial y Mínimo Compromiso.

4.2 Antecedentes

En la Tabla 4.1 mostramos la analogía de la nomenclatura del EML con la de la PDC. Los conceptos que vamos a tratar en el presente capítulo están marcados con ••.

EML	PDC
Problema Existente	Problema Existente/Estado Negativo
Problema Especifico	Problema Especifico
Causa Directa	Causa Directa
	Causa Indirecta
Efecto Directo	Efecto Directo
	Efecto Indirecto
Grupo Actores	•• GrupoAgentes
Actor	••Agente
	•• Situacion
	••Hecho
	Regla
	AxiomaDeductivo
	Teoria
	Interpretacion
	Creencia Explicita
	Motivacion
Beneficiario Directo	•• Beneficiario Directo
Beneficiario Indirecto	•• Beneficiario Indirecto
Excluido	Excluido
	ConocimientoComun
	Conocimiento Distribuido
	ConocimientoCompartido
Objetivo Especifico	•• Objetivo Especifico/Estado Positivo
Estrategia/Solucion	•• Plan/Solucion
	•• Tarea
Actividad	Accion
	•• Estrategia Social
Acuerdo	••Acuerdo
	•• Compromiso
	••Convenio
Factor Externo	•• Precondicion
	Amenaza Posible
Factor Letal	Amenaza Inevitable
	•• Condicion de Ejecucion
	Amenaza de Ejecucion Posible
	Amenaza de Ejecucion Inevitable
Resultado	••EfectoNecesario
	Efecto Disyuntivo
	EfectoLetal
	Situacion Posible
	Entropia
	Contexto
	TendenciaContexto

Tabla 4.1: Conceptos del EML y PDC en el análisis (II).

4.2.1 Pro-Aptitudes de Agentes Inteligentes

Como ya habíamos comentado en el capítulo anterior, un agente inteligente se puede formalizar por un Sistema Intencional (Dennet, 1987), ya que el razonamiento y comportamiento que queremos tratar, puede ser representado y analizado a través de un conjunto de aptitudes relacionado con el conocimiento y el control.

En el Capítulo 3 vimos los conceptos y las distintas teorías relacionadas con el primer grupo de aptitudes, las denominadas Aptitudes de la Información. En este capítulo analizamos las que están relacionadas directamente con el control, es decir, las intenciones, los acuerdos y compromisos de un agente, denominadas Pro-Aptitudes (Wooldridge & Jennings, 1994).

Una de las contribuciones más importantes en la teoría de las pro-aptitudes de un agente inteligente es el trabajo de (Cohen & Levesque, 1990), en el que los autores proponen una teoría de la intención. El modelo presentado tiene dos niveles de detalle; un primer nivel en el que se proponen las primitivas de una teoría de la acción, y uno segundo en el que se construyen los conceptos de acción racional a partir de la primera.

El principal concepto propuesto en el modelo es el de objetivo persistente. Un agente A tiene un objetivo persistente de conseguir el hecho G , relativo a la motivación M , sí las siguientes condiciones permanecen: 1) A cree que G es actualmente falso; 2) A cree que G puede ser posible; 3) este grupo de circunstancias prevalece hasta que A crea que G es verdadero o que nunca lo podrá ser, en tal caso el objetivo persistente a G dejará de tener sentido.

$$\begin{aligned} \text{ObjPer}(A, G) \equiv & \\ & \text{Bel}(A, \neg G) \wedge \\ & \text{Bel}(A, \diamond G) \wedge \\ & \text{Antes}((\text{Bel}(A, G) \vee \text{Bel}(A, \Box \neg G)), \neg \text{ObjPer}(A, G)) \end{aligned}$$

Mediante el concepto de objetivo persistente se define lo que es una intención, siendo ésta el compromiso de realizar alguna acción, es decir, tener un objetivo persistente de realizar dicha acción.

$$\begin{aligned} \text{Intencion}(A, acc) \equiv & \\ & \text{ObjPer}(A, \text{Hecho}(A, \text{Bel}(A, \text{Sucede}(acc)))); a \end{aligned}$$

Otro trabajo, previo al de Cohen y Levesque, es el realizado por (Tuomela & Miller, 1988), en el que los autores proponen el concepto de Nos-Intención como una opción para describir situaciones colaborativas entre agentes. Una Nos-Intención es la base de cualquier actuación en grupo. Un agente A es miembro de un grupo que tiene una Nos-Intención sobre G si: 1) A intenta realizar su parte de G ; 2) A cree que las oportunidades conjuntas de acción para obtener G son ciertas; 3) A cree que existe creencia mútua de todos los miembros que las precondiciones para el éxito son ciertas. Dentro de este marco, una intención se utiliza informalmente para representar el concepto de compromiso entre los agentes que intervienen en la Nos-Intención.

4.2.2 Resolución Cooperativa de Problemas

Uno de los temas de investigación en IA con mayor crecimiento en los últimos años es la Resolución Cooperativa de Problemas con Agentes Inteligentes. Dentro de este tema existen una gran diversidad de posturas, desde los formalistas hasta los pragmáticos, y uno de los grupos de investigación actuales más interesantes es el de AIRG, con Jennings a la cabeza. Este equipo de investigación tiende hacia el pragmatismo, pero con una base formal muy intuitiva.

En (Jennings, 1992a; Jennings, 1992b; Jennings, 1992c) se trata el tipo de interacción social entre un grupo de agentes para resolver un problema común. Para ello, se define el Nivel de Conocimiento de Cooperación.

El Nivel de Conocimiento de Cooperación está representado por el entorno de responsabilidad. En él se utiliza el concepto de objetivo persistente común, nacido por la necesidad o por la conveniencia de cooperación entre un conjunto de agentes, siendo revocable en el caso de que éste se consiga obtener o no tenga nunca solución. Una vez definido el OPC se busca una secuencia de acciones que pueda resolverlo, denominada compromiso de solución, que junto al compromiso individual de cada agente que interviene en el plan solución, definen la llamada responsabilidad conjunta.

$$\begin{aligned} RespC(Grupo, Problema) \equiv \\ MB(Grupo, ObPersC(Grupo, Problema)) \wedge \\ MB(Grupo, Compromiso(Grupo, Problema)) \end{aligned}$$

Posteriormente en (Wooldridge & Jennings, 1994a; Wooldridge & Jennings, 1994b) se define una opción de proceso más evolucionado de Resolución Cooperativa de Problemas en cuatro fases:

Reconocimiento. Algún agente reconoce el potencial de cooperación. El reconocimiento puede ocurrir por diversas causas: 1) por necesidad, es decir, el agente no es capaz de resolver el problema identificado debido a falta de recursos, sin embargo reconoce que a nivel del grupo se podría resolver; 2) por conveniencia, el agente puede resolver el problema, pero prefiere utilizar los recursos del grupo.

$$\begin{aligned} PotencialCooperacion(A, P, G) \equiv \\ Objetivo(A, P) \wedge \exists G. Bel(A, Pueden(G, P)) \wedge \\ (\neg Puede(A, P)) \vee \\ \forall acc|Plan. Agt(acc|Plan, A) \wedge Resuelve(acc|Plan, P) \rightarrow \\ Objetivo(A, \neg Realizar(acc|Plan))) \end{aligned}$$

Formación de equipo. Una vez reconocido el potencial de cooperación para resolver un objetivo de un agente del grupo, el agente solicita la ayuda del grupo, y en el caso de obtener éxito, se establece un compromiso entre los agentes que pueden resolver conjuntamente el problema del agente.

$$\begin{aligned} \forall A_i. Bel(A_i, PotCoop(A_i, P)) \Rightarrow \\ \diamond \exists G \exists acc. Intentar(A_i, acc, preEquipo(G, P, A_i), \\ MBel(G, Objetivo(A_i, P) \wedge Bel(A_i, Pueden(G, P))) \end{aligned}$$

Generación de planes. Los agentes que han entrado en compromiso intentan crear un plan conjunto que resuelva el problema.

Acción del equipo. Una vez llegado a un compromiso en la forma de actuar para resolver el problema, el equipo establece la intención conjunta de realizar el plan.

$$\text{Equipo}(\text{Grupo}, P, A_i) \equiv \exists \text{Plan. Resuelve}(\text{Plan}, P) \wedge \text{IntencionConjunta}(\text{Grupo}, \text{Plan}, \text{Objetivo}(A_i, P))$$

4.2.3 Agentes Sociales

Uno de los últimos trabajos más interesantes en el intento de definir el comportamiento social en un grupo de agentes en IA es el de (Jennings & Campos, 1997). En él se define una tipología de agente, a partir del llamado Nivel Social, denominada Agente Responsable Social, miembro de una Sociedad Responsable. El Nivel Social, introducido por (Newell, 1982), es el nivel de conocimiento que está por encima del conocimiento específico del agente, y es el responsable de todas las relaciones sociales del agente con el resto de agentes del grupo. El Nivel Social se describe a partir de:

El sistema. Es la entidad que define el nivel de conocimiento social. Jennings lo define como una sociedad responsable.

Los Componentes. Los elementos primitivos que forman el sistema. Jennings define a los miembros del grupo como los componentes que resuelven un problema. El elemento más simple es un agente responsable social. También establece la diferencia entre el entorno y el grupo de agentes, así como las vías por las cuales los agentes pueden interactuar: canales de comunicación, el entorno, un agente mediador. Finalmente, incluye el concepto de objetivo como componente del sistema, haciendo diferencia entre individuales y sociales.

Las leyes de composición. Son las reglas que definen cómo son combinados los componentes para formar el sistema.

Las leyes de comportamiento. Son los mecanismos por los cuales se define el comportamiento del sistema a partir de los de sus componentes. Jennings define un tipo de comportamiento, en contraste con el Principio de Racionalidad de Newell, denominado Principio de Racionalidad Social. Estableciendo que cualquier acción llevada a cabo por los agentes del grupo debe tener un beneficio global neto positivo para la sociedad.

El medio. Son los elementos que el sistema utiliza para obtener el comportamiento para el cual ha sido diseñado. Jennings define dichos elementos como los medios necesarios para cumplir el Principio de Racionalidad Social. Los tres elementos son el trato mutuo, la influencia y los derechos y deberes.

Nivel Social	
Sistema	Sociedad Responsable
Componentes	Miembros
	Entorno
	Medios de Comunicación
	Objetivos
Leyes de Composición	
Leyes de Comportamiento	Principio de Racionalidad Social
Medio	Trato Mútuo
	Influencia
	Deberes y Derechos

Tabla 4.2: El Nivel Social de un agente.

Principio de Racionalidad Social. Si un miembro de una sociedad responsable puede realizar una acción con un beneficio conjunto mayor que su pérdida conjunta, entonces el agente puede seleccionar dicha acción.

De esta manera queda formulado el Principio de Racionalidad Social. Donde el beneficio conjunto se define como $\Delta(M,a) + \delta(M,a)$ y la pérdida conjunta como $\Omega(M,a) + \omega(M,a)$, siendo los primeros componentes de cada expresión el beneficio y pérdida del grupo, y los segundos el beneficio y pérdida individual.

A partir de las relaciones que se pueden establecer entre $\Delta(M,a)$, $\delta(M,a)$, $\Omega(M,a)$ y $\omega(M,a)$ se definen las cuatro clases de acciones disyuntas que puede realizar un agente $S(M) \cup I(M) \cup D(M) \cup F(M) \equiv A(M)$. En la Tabla 4.3 se muestran las cuatro clases y las condiciones para la sociedad y el miembro.

Acciones sociales. Son aquellas que dan un beneficio neto a la sociedad, aunque no lo dan para el agente que realiza la acción.

Acciones individuales. Son aquellas que dan el beneficio neto para el agente que realiza la acción, pero la sociedad no ve incrementado su beneficio neto tras la realización de la acción.

Acciones divididas. Son aquellas que dan un beneficio neto, tanto a la sociedad, como al agente que realiza la acción.

Acciones vanas. Las que no dan ningún beneficio, ni al agente que realiza la acción ni a la sociedad.

Clase de Acción	Sociedad	Miembro
Social	$\Delta(M, a) > \Omega(M, a)$	$\delta(M, a) \leq \omega(M, a)$
Individual	$\Delta(M, a) \leq \Omega(M, a)$	$\delta(M, a) > \omega(M, a)$
Dividida	$\Delta(M, a) > \Omega(M, a)$	$\delta(M, a) > \omega(M, a)$
Vana	$\Delta(M, a) \leq \Omega(M, a)$	$\delta(M, a) \leq \omega(M, a)$

Tabla 4.3: Clases de acciones en una sociedad responsable.

4.2.4 Planificación Abstracta Parcial

En este apartado analizamos un tipo de planificación en IA, denominada Planificación Abstracta Parcial. Para ello, primero introducimos los conceptos relacionados con la planificación en general, realizando un repaso a las distintas propuestas que han conformado la denominada Planificación Clásica.

Propuesta.	Problema.
Cálculo de situaciones (McCarthy 1960).	
	Problema del marco 1969
Sistema STRIPS (Fikes y Nilsson 1971).	
Planificación jerárquica (Sacerdoti 1974).	
Planificación parcial (Sacerdoti 1975).	
	Problema de la cualificación 1977

Tabla 4.4: Cronología de las diferentes propuestas en Planificación Clásica.

4.2.4.1 Cálculo de Situaciones

Cálculo de Situaciones es el nombre que se le da a una manera particular de describir el cambio en lógica de primer orden. Se basa en describir el mundo como una secuencia de situaciones, que cada una de ellas es una “foto” del estado del mundo (la foto nunca describe al mundo completamente, es una descripción parcial (McCarthy, 1969)). El mundo persiste en una determinada situación hasta que una acción genera un cambio a una nueva situación⁵. La obtención de la secuencia de acciones que resuelven el estado objetivo a partir de un estado inicial es denominada una estrategia.

Cada acción está relacionada con la situación a la que puede ser aplicada y con la situación nueva que genera mediante la descripción del par {precondiciones, efectos}. Para describir la variación de un hecho respecto a cada situación se utiliza el concepto de fluente proposicional, que muestra las ocurrencias de cada hecho mapeandolo en cada situación a [V,F]. El tipo de lógica utilizada es una lógica de primer orden argumentada.

⁵ Hay que tener en cuenta que cuando McCarthy creó el Cálculo de situaciones aún no existía un estudio formal sobre acciones en inteligencia artificial, el primer trabajo desarrollado sobre la teoría de acciones fue el de (von Wright, 1963).

El fluente proposicional más importantes es Mantener:

$$resultado_logico = Mantener(hecho, situacion)$$

El concepto de acción (efecto de una acción) es representado por el fluente Resultado:

$$nueva_situacion = Resultado(accion, situacion)$$

El concepto de causalidad se expresa mediante un fluente F^6 :

$$resultado_logico = F(hecho(situacion_nueva), situacion)$$

que afirma que tras la situación actual seguirá una *situacion_nueva* en la que se cumplirá el hecho *hecho*.

Para poder representar el resultado de una acción se definen los denominados *axiomas de efecto* o *axiomas de acción*.

$$\forall x, s \quad \neg Sujetar(x, Resultado(Dejar, s))$$

Sin embargo, estos axiomas no son útiles para representar lo que debe permanecer tras la ejecución de la acción, para ello se definen los *axiomas de marco*.

$$\forall a, x, s \quad Sujetar(x, s) \wedge (a \neq Dejar) \Rightarrow Sujetar(x, Resultado(a, s))$$

Uniendo ambos tipos de axiomas obtenemos los *axiomas de estado sucesor* (Elkan, 1992), que fué la solución encontrada para resolver el *problema del marco*.

$$\begin{aligned} \forall a, x, s \quad & Sujetar(x, Resultado(a, s)) \Leftrightarrow \\ & [(Presente(x, s) \wedge Portable(x)) \vee (Sujetar(x, s) \wedge a \neq Dejar)] \end{aligned}$$

El principal problema del enfoque del Cálculo de Situaciones era tener que proveer de manera explícita cada axioma de marco para cada acción y cada relación; otros tipos de problemas son debidos a la lógica temporal que utilizaba, no pudiendo representar duración en las acciones, ni cambio contínuo, o concurrencia en las acciones⁷.

MacCarthy propuso en 1977 un método para resolver el *problema del marco* y el *problema de la cualificación* denominado *Circumscripción*, basada en un tipo especial de lógica por defecto, que define las precondiciones “mundanas” que pueden evitar la viabilidad de una acción, y las cuales el agente planificador debe proveer para la ejecución de la acción. Un ejemplo de circumscripción sería a partir de los fenómenos:

⁶ La adición de los operadores modales temporales no se realiza hasta 1969.

⁷ Esto es debido a la utilización de una lógica temporal basada en el cambio.

$$\begin{aligned}
& \forall x, y, s \quad ((\neg es_bloque(x) \vee \neg es_bloque(y)) \\
& \supset preveer(NO_BLOQUE, mover(x, y), situacion)) \\
& \forall x, y, s \quad ((\neg libre(x, situacion) \vee \neg libre(y, situacion)) \\
& \supset preveer(CUBIERTO, mover(x, y), situacion)) \\
& \forall x, y, s \quad (es_pesado(x) \\
& \supset preveer(peso(x), mover(x, y), situacion))
\end{aligned}$$

y de la descripción de la acción:

$$\begin{aligned}
& \forall x, y, s (\forall z \neg preveer(z, mover(x, y), situacion) \\
& \supset en(x, y, resultado(mover(x, y), s)))
\end{aligned}$$

circumscrito por:

$$\begin{aligned}
& (\neg es_bloque(A) \vee \neg es_bloque(B) \supset \Phi(NO_BLOQUE)) \wedge \\
& (\neg libre(A, situacion0) \vee \neg libre(B, situacion0) \supset \Phi(CUBIERTO)) \wedge \\
& (es_pesado(A) \supset \Phi(pesoA)) \wedge \\
& \forall z (\Phi(z) \supset preveer(z, mover(A, B), situacion0)) \\
& \supset \forall z (preveer(z, mover(A, B), situacion0) \supset \Phi(z))
\end{aligned}$$

4.2.4.2 Sistema STRIPS

El sistema STRIPS (STandford Research Institute Problem Solver) fué creado inicialmente como un resolutor de problemas (fué más tarde cuando se empezó a hacer la distinción entre resolución de problemas y planificación).

El STRIPS es la principal alternativa al Cálculo de Situaciones para evitar la especificación de un gran número de *axiomas de marco*, y que el agente planificador tenga que considerar dichos axiomas en cada punto del plan.

En el STRIPS, el mundo está representado por estados, cada estado está descrito por la conjunción de sentencias, y las acciones o eventos están descritos por operadores. Cada operador está definido por la cuatrupla:

$$\{nombre_accion, precondiciones, lista_a_adir, lista_borrar\}$$

en el que las precondiciones definen el estado en el que se puede aplicar el operador, la lista_añadir define los hechos que serán ciertos en el estado resultante, y la lista_borrar define los hechos que ya no siguen siendo ciertos.

Por ejemplo, la acción Lleva_a puede estar definida por el operador Op1:

Op1:

{Accion: Lleva_a(x, z)

Precondiciones: En(x, y) \wedge Recorrido(y, z)

Añadir: En(x, z)

Borrar: En(x, y)}

En realidad el sistema STRIPS define un tipo de lógica de primer orden, que es utilizada como transformador sintáctico entre estados del mundo, y las reglas del STRIPS actúan como reglas de inferencia en este tipo especial de lógica. Para que el sistema sea sólido se debe cumplir: 1) cada hecho que aparece en la lista_añadir debe ser cierta en el estado resultante de la acción, y 2) cada hecho del estado al que se aplica la acción, que no pertenezca a la lista_borrar, también debe ser cierta en el estado resultante (Lifschitz, 1987). La base filosófica que reside tras la solidez del sistema STRIPS es que el mundo no varía demasiado de un estado a otro, es decir, los componentes de un estado del mundo no están muy interrelacionados ni son inestables, por lo que cada acción no puede tener efectos profundos ni globales en el mundo (Nilsson, 1980).

Debido a su solidez, ¡y su base filosófica!, el sistema STRIPS resuelve el *problema del marco* (perdiendo en expresividad frente al Cálculo de Situaciones), pero sufre graves deficiencias frente al *problema de la ramificación*, ya que todas las consecuencias de cada acción deben ser descritas de forma explícita.

El *problema de la cualificación* queda tan poco resuelto con el sistema STRIPS como con el Cálculo de situaciones. Veremos como este problema no se llega a resolver ni siquiera cuando: 1) se abandonan las lógicas monotónicas (completas y sólidas), 2) se extienden las lógicas temporales⁸, y 3) a nivel epistémico se introduce el concepto de probabilidad subjetiva y grado de certidumbre.

4.2.4.3 Planificación Abstracta (Jerárquica)

La planificación jerárquica fué introducida en el ABSTRIPS (Sacerdoti, 1974), una variante del sistema STRIPS. La idea residía en poder crear planes a un alto nivel de abstracción, y descomponer cada acción de dicho plan en subplanes más especializados. A esta idea se la denominó *descomposición jerárquica*.

Para poder realizar una descripción del plan se dividen los operadores en primitivos y no-primitivos. En realidad esta distinción es aplicable al agente que realiza la planificación⁹. Además de la distinción entre operadores se deberá disponer de un método de descomposición, representado por:

⁸ Se hace referencia a la creación de lógicas basadas en el tiempo frente a las basadas en el cambio (Shoham, 1988).

⁹ Esta idea la utilizaremos en nuestra especificación del sistema.

Descomponer(operador_no_primitivo, plan_especializado)

Desde este enfoque, una descomposición es como un macro para un operador no-primitivo. Un plan-especializado implementará un operador no-primitivo sólo si este plan es completo y consistente para el problema de alcanzar los objetivos del operador a partir de sus precondiciones.

El concepto de planificación jerárquica permite al planificador especificar los problemas en piezas de tamaño razonable; este hecho es importante de cara a desarrollar sistemas de planificación que trabajen en el mundo real.

Tanto el plan abstracto como cada uno de los especializados deben ser completos y consistentes; en el caso de que un operador abstracto disponga de un plan especializado que lo resuelva, se pueden podar los demás operadores abstractos que eran descomposición del nivel superior.

La idea que nos interesa de la planificación jerárquica es poder descomponer el problema en niveles de abstracción¹⁰ para retardar el compromiso de la asignación de operadores primitivos¹¹ (Molgen, 1981), lo que significa, aplazar la resolución de las condiciones del nivel más especializado; combinando esta metodología con la de la planificación parcial obtendríamos un método de planificación que nos permitiría aplazar la asignación de operadores y la especificación de tareas al máximo.

4.2.4.4 Planificación Parcial

La planificación parcial está basada en el espacio de búsqueda que se realiza para generar un plan; mientras que la planificación total (enfoque de la IO¹²) se basa en el espacio de estados¹³, la planificación parcial¹⁴ utiliza el espacio de planes. El primer sistema fué el NOAH (Sacerdoti, 1975).

La búsqueda de la planificación parcial se realiza a partir de un plan inicial incompleto, llamado plan_parcial, al que se le pueden aplicar operadores de tipo operador_refinamiento, o de tipo operador_modificación.

Cada acción puede estar representada como en el sistema STRIPS {nombre, precondiciones, lista_añadir, lista_borrar}, o uniendo {lista_añadir, lista_borrar} en una única lista {efectos}.

¹⁰ Stefik propone una solución basada en la metaplanificación con el MOLGEN en 1981.

¹¹ La idea que se utiliza en el ABSTRIPS es la utilización de un nivel de criticidad en cada operador. El sistema intenta resolver los operadores ordenados de forma decreciente.

¹² El enfoque utilizado en todos los algoritmos de búsqueda de la Investigación Operativa.

¹³ También denominados situaciones.

¹⁴ También denominada planificación no-lineal.

El plan parcial inicial está representado por:

Plan_parcial_inicial:
 [Pasos:{S1:Op(Accion:Inicio),S2:Op(Accion:Final)}
 Ordenacion:{S1 < S2}
 Asignaciones:{}
 Enlaces_Causales:{}]]

en el que los operadores inicio y final están representados por:

Op_Inicio:
 [nombre:Inicio
 precondiciones:{}
 lista_añadir:{descripcion_estado_inicial}
 lista_borrar:{}]]

Op_Final:
 [nombre:Final
 precondiciones:{descripcion_estado_objetivo}
 lista_añadir:{}
 lista_borrar:{}]]

El conjunto Pasos indica los estados-acción que se utilizan en el plan. La Ordenación define el conjunto de restricciones de ordenación temporal entre pasos, ya que cualquier plan totalmente ordenado derivado de las restricciones temporales del plan_parcial es una linearización de dicho plan_parcial. La lista de Asignaciones contiene el conjunto de restricciones de ligadura, de esta manera guardamos el entorno¹⁵ en cada paso y lo podemos relacionar con los demás entornos del plan. La lista Enlaces_Causales¹⁶ es el conjunto de relaciones entre pasos del tipo:

$$S_i \xrightarrow{p} S_j$$

que muestra como el paso i resuelve la precondición p para el paso j . El poder guardar las relaciones causales nos permiten representar los objetivos de cada paso en el plan.

En la planificación parcial también se tratan los conceptos de completitud y consistencia. Ya que una solución será sólo aquella que sea completa y consistente si:

$$(S_i \xrightarrow{p} S_j) \wedge (S_i < S_j) \wedge \neg(S_k \xrightarrow{p} S_j) \wedge (S_i < S_k < S_j)$$

y no existe ninguna contradicción en la ordenación temporal de pasos, ni en las ligaduras entre pasos.

¹⁵ Es el conjunto de ligaduras locales a cada paso.

¹⁶ También denominados Enlaces_protegidos, porque deben ser protegidos de otros operadores que los anulen.

La causa de que los Enlaces_Causales estén protegidos es para que ningún otro operador pueda negar la precondition alcanzada; a este tipo de operadores se les denomina *amenazas*, y deben ser trasladados delante del enlace causal (descenso) o después del enlace causal (adelantamiento) para evitar la contradicción (NONLIN (Tate, 1974)).

Lo que más nos interesa de la planificación parcial es el disponer de un plan parcial que puede generar cualquier linearización a partir de las restricciones temporales; esto nos da más adaptabilidad a la hora de decidir qué operadores asignamos finalmente, ya que podríamos estudiar la viabilidad de los operadores antes de asignarlos.

El segundo concepto de interés es el Enlace Causal, ya que nos permite descubrir amenazas entre operadores y definir estrategias para evitarlas.

4.3 Proceso de Planificación Cooperativa

En este apartado vamos a definir un modelo de planificación en un sistema de múltiples agentes basado en las teorías descritas en el apartado anterior. Esto nos permitirá en los apartados 4.4 y 4.5 resolver las fases de “Definición de Objetivos” y “Generación de Planes Alternativos” de un proyecto de desarrollo.

El modelo que presentamos está compuesto por dos niveles de conocimiento distintos: el primero define los conceptos principales de la planificación cooperativa en un grupo de agentes; el segundo define el nivel objeto de la planificación (plan, tarea,...).

4.3.1 Objetivo Persistente

En nuestro modelo de Planificación Cooperativa definimos un Objetivo Persistente como el estado del contexto que un agente, o grupo de agentes, quiere obtener. El estado está definido por una situación compuesta por la intersección de un conjunto de hechos, o un único hecho (el caso más simple).

Cuando un agente tiene un Objetivo Persistente, el agente cree que en la actualidad el estado no es cierto, sin embargo, a diferencia de (Cohen & Levesque, 1990), el agente desconoce si el estado será resuelto en algún estado futuro o si el estado nunca lo será.

Al mismo tiempo, el Objetivo Persistente no tiene porque ser la negación del Problema Central, como es el caso en (IUDC, 1993), sino el estado que el agente desea del futuro, el agente utiliza la técnica del razonamiento aproximado para valorar los hechos y reglas de su base de conocimiento.

Es decir, el agente utiliza un conjunto de variables lingüísticas que representan los hechos de cada situación. Cada variable lingüística (Trillas, 1980; Valverde, 1992) está determinada por: 1) su nombre VL ; 2) el conjunto de términos asociados $T(VL)$ a VL , como el conjunto de valores lingüísticos; 3) un universo de discurso, U , en el que VL toma sus valores cuantitativos; 4) un conjunto de reglas sintácticas RS , que permite la generación de términos en $T(VL)$; 5) una regla semántica RV , que define la distribución de posibilidad de U a $T(VL)$. Por ejemplo, en el caso del Problema Central Num_Accidentes:

VL: Num_Accidentes

T(Num_Accidentes): {Muy Bajo, Bajo, Normal, Alto, Muy Alto}

U(Num_Accidentes): {0, 1, 5, 10, 25, 50, 100, 200}

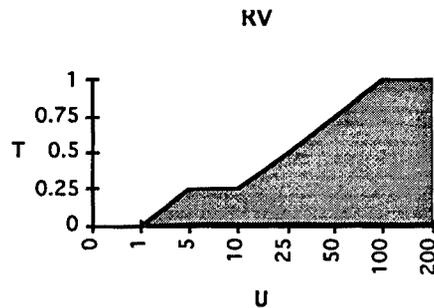


Fig. 4.1: Regla Semántica de la variable lingüística Num_Accidentes.

En este ejemplo: a) el agente podría utilizar la función monoaria de lógica difusa para la evaluación de la negación $\mu(\neg VL) = 1 - \mu(VL)$; b) o podría establecer de forma explícita cuál será el estado objetivo de la variable lingüística.

- a) (Objetivo A (NO (Num_Accidente Muy_Alto)))
- b) (Objetivo A (Num_Accidentes Bajo))

Una vez establecida la forma de evaluar los estados que percibe el agente, podemos definir lo que es un Objetivo Persistente (individual o conjunto).

$$\text{ObjetivoPersistente}(A, O) \equiv \text{Bel}(A, \neg O \wedge (\text{Resuelto}(O) \vee \text{Im posible}(O) \rightarrow \neg \text{ObjetivoPersistente}(A, O)))$$

En el caso de ser un Objetivo Persistente Conjunto, es conocimiento común que el objetivo no es cierto en la actualidad.

$$\text{CBel}(G, \neg O \wedge (\text{Resuelto}(O) \vee \text{Im posible}(O) \rightarrow \neg \text{ObjetivoPersistente}(G, O)))$$

Cualquier subconjunto del grupo de agentes involucrados en el proyecto puede tener un Objetivo Persistente Conjunto lincado a un problema central; el subgrupo está compuesto por los agentes que han identificado el problema central, y que han llegado al consenso de aceptar dicho problema central. De esta manera, cada problema central está compuesto por un estado inicial y un estado final. El estado final es el estado sobre el cual se establece el Objetivo Persistente para el agente (o grupo de agentes).

Problema-Central:
 Nombre:
 EstadoInicial:
 EstadoFinal:
 Agentes:

4.3.2 Oportunidad de Cooperación

Una vez definido el Objetivo Persistente, el agente interesado (o grupo de agentes) debe averiguar si él o un subconjunto del grupo de agentes es capaz de resolverlo.

Para saber si un agente puede resolver el estado objetivo disponemos de:

$$\begin{aligned} & \text{Puede}(A, O) \equiv \\ & \exists \text{acc. Bel}(A, \text{Agt}(\text{acc}, A) \wedge (\text{Resuelve}(\text{acc}, O) \vee \text{Resuelve}(\text{acc}, \text{Pre}(O)))) \end{aligned}$$

y para un grupo de agentes:

$$\begin{aligned} & \text{Pueden}(G, O) \equiv \\ & \exists \text{plan. CBel}(G, \text{Agt}(\text{plan}, G) \wedge (\text{Resuelve}(\text{plan}, O) \vee \text{Resuelve}(\text{plan}, \text{Pre}(O)))) \end{aligned}$$

Ambas fórmulas muestran la capacidad de resolver, individual o conjuntamente, el estado objetivo. La forma de encontrar la solución es averiguar si existe alguna acción o plan que pueda obtener el estado objetivo, o la acción o plan que pueda obtener un estado precondición del estado objetivo.

La manera de definir la Oportunidad de Cooperación para el objetivo persistente de un agente A perteneciente al grupo es que exista un subgrupo G del grupo total de agentes (puede ser el grupo total o un único individuo) que puede resolver el problema.

La petición de cooperación puede ser debida a: 1) que el agente A requiera de la cooperación del subgrupo por necesidad, es decir, porque no puede resolverlo él solo; 2) o por conveniencia, es decir, el agente necesitara la cooperación del resto del grupo porque no puede obtener un beneficio neto de la realización de la acción/plan.

$$\begin{aligned} & \text{OportunidadCooperacion}(A, G, O) \equiv \\ & \text{ObjetivoPersistente}(A, O) \wedge \exists G' . \subseteq (G', G) \wedge \text{Acuerdo}(\text{Pueden}(G', O), G) \wedge \\ & (\neg \text{Puede}(A, O) \vee \neg \text{Acuerdo}(\text{Puede}(A, O), G)) \end{aligned}$$

En nuestro modelo, a diferencia con (Wooldridge & Jennings, 1994a; Wooldridge & Jennings, 1994b) donde no se explicita en qué circunstancias le conviene al agente no realizar la acción, la Oportunidad de Cooperación se cumple cuando el Objetivo Persistente del agente A puede resolverse por un subgrupo G' del grupo total de agentes que está de acuerdo en resolver el OP y, o bien el agente no puede resolverlo, o no hay acuerdo entre el agente y el grupo para resolver el OP. El concepto de Acuerdo se define en el Nivel Social del agente A .

4.3.3 Coste/Beneficio Conjunto

La relación de Beneficio Neto establece el equilibrio entre ganancia y pérdida para un agente al realizar una acción determinada. Sin embargo, de cara a poder modelar un comportamiento social de naturaleza cooperativa es necesario tener en cuenta el beneficio y pérdida del grupo, junto al individual.

Siguiendo la línea del Subapartado 3.3.6, definimos una estrategia social de compromiso, basada en el acuerdo de todos los agentes componentes de un plan. Dicha estrategia social está vinculada al conocimiento de planificación, y no al de los problemas del proyecto. El acuerdo establece que un agente está dispuesto a realizar una acción perteneciente a un plan sí: 1) la relación entre ganancia y pérdida del agente es positiva o, la relación entre ganancia y pérdida del grupo es positiva; 2) o la relación entre ganancia del grupo y la pérdida del agente que realiza la acción es positiva o, la relación entre ganancia del agente y la pérdida del resto de agentes es positiva. A partir de la Tabla 4.5 se establecen, al igual que en (Jennings & Campos, 1997), cuatro tipos de acciones:

$((BG \geq CG))$	OR	$(BA \geq CA)$	AND	$((BG' \geq CA)$	OR	$(BA \geq CG')$
V	V	V	V	V	V	V
V	V	V	V	V	V	F
V	V	V	V	F	V	V
V	V	V	F	F	F	F
V	V	F	V	V	V	V
V	V	F	V	V	V	F
V	V	F	V	F	V	V
V	V	F	F	F	F	F
F	V	V	V	V	V	V
F	V	V	V	V	V	F
F	V	V	V	F	V	V
F	V	V	F	F	F	F
F	F	F	F	V	V	V
F	F	F	F	V	V	F
F	F	F	F	F	V	V
F	F	F	F	F	F	F

Tabla 4.5: Beneficio Conjunto del agente y el grupo al realizar una acción.

Acción individual pura. Es la acción de la que el agente obtiene un beneficio neto individual positivo. Sin afectar al beneficio neto del grupo.

Acción social pura. Es la acción de la que el agente obtiene un beneficio sin coste, a base de un beneficio neto negativo del grupo.

Acción individual. Es la acción de la que el agente obtiene un beneficio neto positivo en colaboración con el grupo.

Acción social. Es la de la que el grupo obtiene un beneficio neto positivo, gracias a la colaboración del agente que realiza la acción.

Siendo:

- BG:** Beneficio del Grupo G al realizarse la acción.
- BA:** Beneficio del agente A al realizar la acción.
- BG':** Beneficio del resto del grupo menos el agente A .
- CG:** Coste del Grupo en la colaboración de la acción.

- CA*: Coste del agente *A* que realiza la acción.
CG': Coste del resto del grupo menos el agente *A*.

$$\text{BeneficioNeto}(A, acc) \equiv BA(A, acc) - CA(A, acc)$$

$$\text{BeneficioNeto}(G, acc) \equiv \sum_{A_i \in G} \frac{\text{BeneficioNeto}(A_i, acc)}{N}$$

$$\text{BeneficioConjunto}(G, A, acc) \equiv (BG \geq CG \vee BA \geq CA) \wedge (BG \geq CA \vee BA \geq CG)$$

4.3.4 Acuerdo y Compromiso en el Grupo de Agentes

Al definir el Beneficio Conjunto entre agente que realiza la acción y el grupo, establecemos un filtro de acciones sociales adecuadas para un proyecto de desarrollo, es decir, el acuerdo de un agente *A* respecto el grupo *G* al realizar una acción *acc*.

$$\text{Acuerdo}(A, acc, G) \equiv \text{BeneficioConjunto}(A, acc, G)$$

Para llegar a un compromiso entre todos los agentes involucrados en el plan se debe evaluar el acuerdo para cada acción perteneciente al plan.

$$\text{Compromiso}(\text{Grupo}, \text{Plan}) \equiv \bigwedge_{acc_i \in \text{Plan}} \text{Acuerdo}(\text{Responsable}(acc_i, \text{Grupo}), acc_i, \text{Grupo})$$

Mediante el concepto de Compromiso y Oportunidad de Cooperación indicamos cuándo se cumple una Cooperación entre el grupo de agentes respecto a un Problema Central del proyecto.

$$G', \text{plan} := \text{OportunidadCooperacion}(\text{Agt}(\text{PC}), G, \text{EstadoFinal}(\text{PC}))$$

y

$$\begin{aligned} \text{Cooperacion}(\text{PC}, G) \equiv \\ \text{CBel}(G, \text{Compromiso}(G', \text{plan})) \end{aligned}$$

La fórmula muestra que existe Cooperación cuando existe un subgrupo de agentes *G'* que puede resolver el estado final del problema central *PC* (objetivo persistente para el/los agente/s que lo ha/n identificado) y ha llegado a un compromiso sobre el plan, teniendo el grupo *G* creencia común de todo ello.

4.3.5 Convenio del Plan Abstracto

Se ha de tener en cuenta que programar un plan no es ejecutarlo. En la fase de *Generación de planes abstractos alternativos* el grupo de agentes desconoce por completo el estado del contexto durante la futura ejecución del plan.

Debido a dicho desconocimiento, el grupo necesita de un conocimiento explícito para poder monitorizar (controlar el adecuado comportamiento) el plan abstracto programado. La herramienta útil para dicho objetivo es el Convenio, siendo éste la relación entre el estado inicial de cada tarea del plan y su estado final. Un Convenio refleja que para cada objetivo de cada tarea se han de cumplir una serie de precondiciones, permitiendo de esta manera monitorizar el funcionamiento del plan durante su ejecución. La estructura de un Convenio es:

Convenio-Plan-Abstracto:

Nombre:

Plan:

Convenios-Tareas:

Convenio-Tarea:

Nombre:

Tarea:

En la Figura 4.2 mostramos de manera esquemática el proceso de planificación cooperativa.

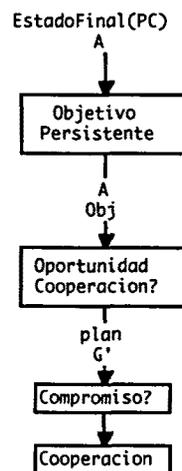


Fig. 4.2: Proceso de Planificación Cooperativa.

4.3.6 Planes Abstractos

Hasta aquí hemos descrito los conceptos relacionados con el proceso de planificación cooperativa en un grupo de agentes. En este subapartado vamos a describir los conceptos del nivel objeto que manipula el conocimiento social del grupo, es decir, los planes, las tareas, y las precondiciones y efectos relacionados con una tarea.

En un sistema de planificación con incertidumbre es importante el principio de mínimo compromiso, pero no en el sentido que hemos tratado en los apartados 3.3.6 y 4.3.4, sino referente a la ordenación de las tareas. El principio de mínimo compromiso nos permite realizar elecciones sólo cuando realmente estamos seguros, pudiendo dejar inespecificado el resto de elecciones para más adelante.

Para poder utilizar la estrategia de mínimo compromiso respecto a la ordenación de las tareas y las ligaduras de las variables necesitamos trabajar con el espacio de los planes, y no con el de las acciones (tareas). Al tratar con el espacio de los planes, disponemos de un plan que está ordenado parcialmente, el cual tiene un conjunto de linearizaciones, siendo cada una de ellas un plan ordenado totalmente.

Los beneficios de utilizar la planificación con ordenación parcial son:

Mayor simplificación. Es más natural e intuitivo tratar con un plan parcialmente ordenado, que tener que elegir entre todas las posibles linearizaciones de éste.

Mayor flexibilidad. Al tratar con un plan ordenado parcialmente es más fácil modificarlo para adaptarlo a otros planes ordenados parcialmente, es decir, es más flexible.

En la presente fase nos interesa disponer de un plan ordenado parcialmente, que sea una posible solución a un problema central del proyecto. Esta solución se define como un plan completo y consistente que resuelve el objetivo del problema central. Siendo completo sí cada precondition de cada tarea del plan ha sido resuelta por otra tarea del plan, o ya es un estado inicial del plan; y consistente sí no se encuentran contradicciones en la ordenación de las tareas.

Al mismo tiempo, se ha de tener en cuenta que en la fase actual del proyecto el grupo de agentes está definiendo planes alternativos a un nivel de detalle abstracto. La decisión de utilizar planes abstractos es debida a tres motivos:

Menor coste computacional. Al tratar con un dominio más pequeño que el de los planes detallados, el coste de computación es menor.

Estrategia de mínimo compromiso. La utilización de planes abstractos le permite al grupo de agentes retardar las decisiones sobre qué plan con ordenación total será el más adecuado.

Viabilidad incognita. En la generación de planes abstractos no se evalúa la viabilidad de las tareas, permitiendo generar el máximo de planes abstractos, y retardando la decisión sobre qué plan ordenado totalmente, de todos los planes que resuelven cada tarea, es el más viable. Este cálculo se realiza en la fase de *Viabilidad de los planes alternativos*.

Ahora ya podemos definir el nivel objeto de la fase de *Generación de planes alternativos*:

Plan abstracto. Una plan abstracto es un plan que resuelve un problema central del proyecto para un subconjunto de agentes del grupo. El plan está compuesto por una serie de tareas ordenadas parcialmente. La manera de representar la ordenación parcial es mediante un conjunto de restricciones de orden entre las tareas y un conjunto de lincajes causales

(lincajes de protección) entre las tareas.

Restricción de ordenación. Una restricción de ordenación entre tareas define la relación de orden parcial entre las tareas del plan abstracto.

Lincaje causal. Un lincaje causal indica como una tarea resuelve una precondition de otra tarea en el plan, información necesaria para poder establecer las amenazas entre tareas.

Tarea. Cada tarea es una macro acción que será descompuesta por un plan ordenado totalmente. La tarea está definida por un nombre, un conjunto de precondiciones que se debe cumplir para poder realizar la tarea, y un conjunto efectos, consecuencia de haberse realizado la tarea. Además, la tarea lleva asociada un Grado de Viabilidad, que será obtenido del plan detallado que la descompone (este Grado de Viabilidad inicialmente es desconocido), y de un coste de realización.

En las figuras 4.3 y 4.4 mostramos las relaciones entre un plan abstracto y uno detallado, y la estructura de un plan abstracto, respectivamente. Abajo mostramos las estructuras de plan y tarea:

Plan-abstracto:

Nombre:
Tareas:
Resuelto-por:
Restricciones-Ordenacion:
Lincajes-Causales:

Tarea:

Nombre:
Agente:
Precondiciones-Necesarias:
Amenazas-Inevitables:
Condiciones-Ejecucion-Necesarias:
Efectos-Necesarios:
GC:

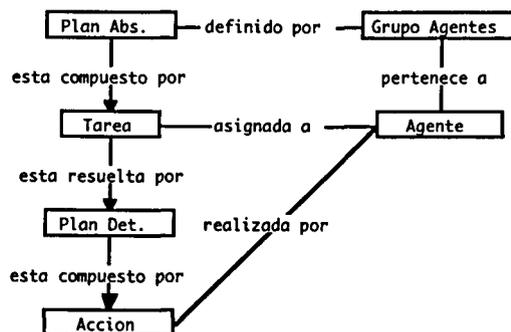


Fig. 4.3: Relaciones entre planes abstractos y planes detallados.

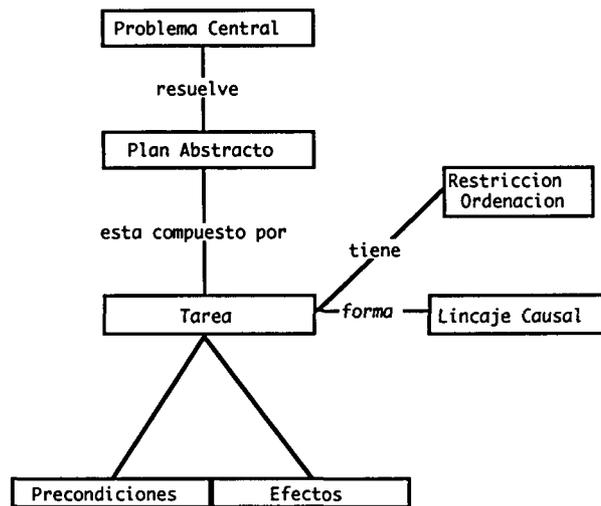


Fig. 4.4: Estructura de un plan abstracto.

El proceso de planificación con ordenación parcial comienza con un plan parcial incompleto, en el que los estados inicial y final del plan son los mismos que los del problema central. Este plan inicial está compuesto por dos tareas: (Inicio, Fin), que definen los estados iniciales del plan; el conjunto inicial de restricciones de ordenación: (Inicio < Fin); y el conjunto inicial de lincajes causales también vacío.

El proceso de planificación se debe realizar con todo el grupo de agentes mediante la función Pueden(Objetivo, Grupo), indicando el agente responsable de cada tarea en el plan generado.

La función Pueden crea un plan parcial inicial con los estados inicial y final del problema central e intenta generar un plan solución mediante un bucle de búsqueda de tareas incompletas, tareas que resuelven las precondiciones de las tareas incompletas, y la resolución de las amenazas causadas por las nuevas tareas añadidas sobre el plan.

En el caso de llegar a un plan solución, la función devuelve el plan y el subgrupo que lo puede realizar.

El algoritmo de la función Pueden parte del algoritmo POP (Russell & Norvig, 1995), y el POP parte del SNLP (Soderland & Weld, 1991). En el Anexo A mostramos el algoritmo de la función Pueden visto desde la perspectiva de la demostración de teoremas. Desde este punto de vista, la generación de los planes alternativos abstractos se basa en la demostración de los objetivos (estados finales) de los problemas centrales mediante un sistema de argumentación con múltiples contextos.

En el siguiente apartado vamos a ver un ejemplo en el que se utilizan los conceptos introducidos sobre Planificación Cooperativa. Nuestra intención es poder comparar el modelo propuesto en las fases de *Definición de objetivos* y de *Generación de planes alternativos* con el modelo de la metodología EML, y demostrar las mejoras introducidas en la Planificación de Desarrollo Cooperativo.

4.4 La Definición de los Objetivos (Ejemplo)

Para entender mejor los conceptos introducidos en el apartado 4.3 continuaremos con el ejemplo de (IUDC, 1993) presentado en el apartado 3.4. En la fase de *Identificación de los problemas* el grupo de agentes llega a un consenso en aceptar los siguientes problemas centrales:

- PC1:
(Nombre: 'PC1
EstadoInicial: '(Num_Accidentes Alto)
EstadoFinal: nil
Agentes: '(A1, A2, A3, A4))
- PC2:
(Nombre: 'PC2
EstadoInicial: '(Antiguedad_Autobuses Alto)
EstadoFinal: nil
Agentes: '(A1, A3))
- PC3:
(Nombre: 'PC3
EstadoInicial: '(Vehiculos_en_Circulacion Alto)
EstadoFinal: nil
Agentes: '(A1, A4))
- PC4:
(Nombre: 'PC4
EstadoInicial: '(NO Capacidad_Hospitales Alto)
EstadoFinal: nil
Agentes: '(A4))

4.4.1 Obtención de los Objetivos a partir de los Problemas

Tal como comentamos en el subapartado 4.3.1, cada agente del grupo de agentes que identifica un problema central puede definir el objetivo del problema central mediante la negación del estado inicial, o explicitando cuál es el valor del término lingüístico que desea obtener. Este proceso tiene en cuenta la agregación de cada uno de los agentes que identifican el problema central en la fase de *Identificación de los problemas*, ya que cada agente ha sido agregado a la valuación del problema central a partir de su Grado de Credibilidad de cara al agente observador.

En las figuras 4.5, 4.6, 4.7 y 4.8 mostramos el término lingüístico que determina el estado final de cada problema central.

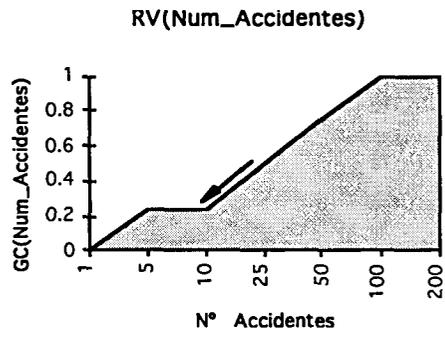


Fig. 4.5: Objetivo de Num_Accidentes.

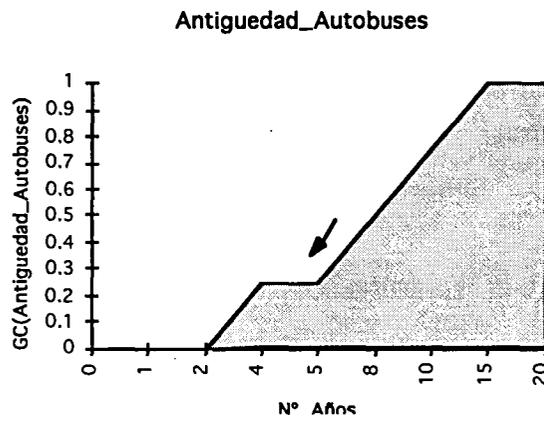


Fig. 4.6: Objetivo de Antigüedad_Autobuses.

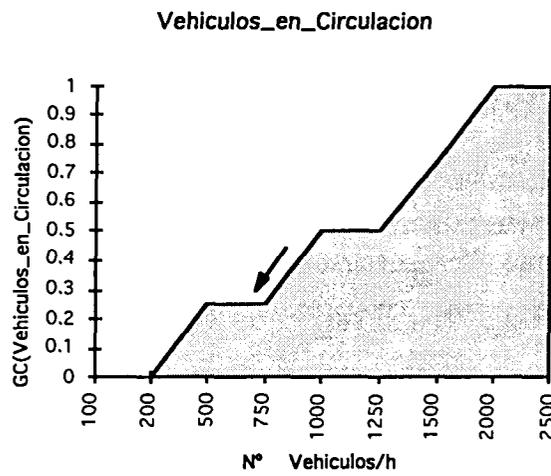


Fig. 4.7: Objetivo de Vehiculos_en_Circulacion.

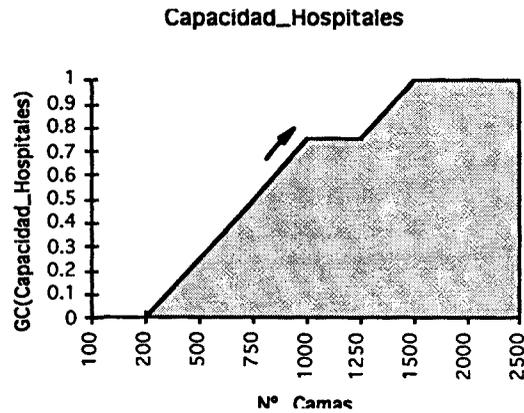


Fig. 4.8: Objetivo de Capacidad_Hospitales.

A partir de las reglas semánticas de cada variable lingüística podemos definir el objetivo para cada problema central, bien mediante la valoración del Grado de Credibilidad o mediante el valor en el universo de discurso de la variable. En este ejemplo utilizaremos un valor explícito del universo de discurso.

- PC1:
 (EstadoFinal: (Num_Accidentes (\leq N°Accidentes 10)))
- PC2:
 (EstadoFinal: (Antiguedad_Autobuses (\leq N°Años 5)))
- PC3:
 (EstadoFinal: (Vehiculos_en_Circulacion (\leq N°Vehiculos/h 750)))
- PC4:
 (EstadoFinal: (Capacidad_Hospitales (\geq N°Camas 1000)))

4.5 La Generación de Planes Alternativos (Ejemplo)

En este apartado definiremos los conocimientos de los agentes del grupo al nivel objeto de la planificación, es decir, las tareas que saben realizar; posteriormente utilizaremos la función Pueden para encontrar los planes alternativos solución a cada problema central; y finalmente averiguaremos cuándo hay compromiso y cooperación en el grupo de agentes.

4.5.1 Definición del Conocimiento de Planificación

Un plan abstracto está definido por un conjunto de tareas, que permiten pasar del estado inicial al estado final del problema central. Al convertir el estado final del problema central en objetivo del grupo de agentes que lo identificaron, éste objetivo puede ser resuelto sí lo son cada uno de los subobjetivos que lo componen.

La manera de definir la relación causal entre los subobjetivos y el objetivo es mediante la utilización de una regla, al igual que en el apartado 3.4.2, aquí añadiremos las reglas extras a las

teorías de los agentes, de cara a poder relacionar la base de creencias con el conocimiento de planificación.

A1: Compañía de Autobuses

HECHOS:

H4: ((Capacidad_Personal_Mantenimiento Alto)

H5: ((Capacidad_Instructores_Practica Alto)

REGLAS:

R13: ((NO (Nivel_Teorico_Conductores GC)) AND
(NO (Nivel_Practico_Conductores GC))
IMPLICA
(Num_Accidentes GC) Alto)

R14: ((NO (Vehiculos_Buenas_Condiciones GC)) AND
(Fatiga_Conductores GC)
IMPLICA
(Num_Accidentes GC) Alto)

R15: ((Media_Antiguedad_Autobuses GC)
IMPLICA
(Antiguedad_Autobuses GC) Muy_Alto)

REGLAS PUENTE:

RP2: ((Capacidad_Aprendizaje_Conductores GC)
DEPENDEN DE: ((Capacidad_Aprendizaje_Conductores GC)
DEL AGENTE: A3)

RP3: ((Fatiga_Conductores GC)
DEPENDEN DE: ((Fatiga_Conductores GC)
DEL AGENTE: A3)

RP4: ((Disponibilidad_Conductores GC)
DEPENDEN DE: ((Oferta_Conductores GC)
DEL AGENTE: A4)

RP5: ((Concesion_Administracion GC)
DEPENDEN DE: ((Concesion_Administracion GC)
DEL AGENTE: A4)

Las tareas que cada agente sabe realizar se definen por un nombre, las precondiciones que requieren y los efectos que generan.

TAREAS:

T1: (NOMBRE: "Reciclar conductores nivel teorico"
PRECONDICIONES: ((Capacidad_Aprendizaje_Conductores GC)
EFECTOS: (Nivel_Teorico_Conductores GC)
GC: Muy_Alto
GRADO VIABILIDAD: ?
COSTE: Normal)

T2: (NOMBRE: "Reciclar conductores nivel practico"
PRECONDICIONES: ((Capacidad_Instructores_Practica GC)
EFECTOS: (Nivel_Practico_Conductores GC)
GC: Alto
GRADO VIABILIDAD: ?
COSTE: Alto)

T3: (NOMBRE: "Aumentar plantilla conductores"
PRECONDICIONES: ((Disponibilidad_Conductores GC)
EFECTOS: (Num_Conductores GC)

- GC: Alto
 GRADO VIABILIDAD: ?
 COSTE: Muy_Alto)
- T4: (NOMBRE: "Efectuar revisiones regulares"
 PRECONDICIONES: (Capacidad_Taller GC)
 EFECTOS: (Vehiculos_Buenas_Condiciones GC)
 GC: Muy_Alto
 GRADO VIABILIDAD: ?
 COSTE: Alto)
- T5: (NOMBRE: "Mejorar medios taller"
 PRECONDICIONES: (Plan_Mantenimiento_Correcto GC)
 EFECTOS: (Capacidad_Taller GC)
 GC: Muy_Alto
 GRADO VIABILIDAD: ?
 COSTE: Alto)
- T6: (NOMBRE: "Desarrollar plan mantenimiento"
 PRECONDICIONES: (Capacidad_Personal_Mantenimiento GC)
 EFECTOS: (Plan_Mantenimiento_Correcto GC)
 GC: Muy_Alto
 GRADO VIABILIDAD: ?
 COSTE: Bajo)
- T7: (NOMBRE: "Adquirir autobuses nuevos"
 PRECONDICIONES: (NO (Capacidad_Economica_Compañia GC))
 EFECTOS: (Media_Antiguedad_Autobuses GC)
 GC: Alto
 GRADO VIABILIDAD: ?
 COSTE: Muy_Alto)
- T8: (NOMBRE: "Conseguir subvencion"
 PRECONDICIONES: (Concesion_Administracion GC)
 EFECTOS: (Capacidad_Economica_Compañia GC)
 GC: Alto
 GRADO VIABILIDAD: ?
 COSTE: Normal)

A3: Conductores

HECHOS:

H3: (Capacidad_Aprendizaje_Conductores Alto)

REGLAS PUENTE:

RP2: ((Num_Conductores GC)
 DEPENDE DE: (Num_Conductores GC)
 DEL AGENTE: A1)

TAREAS:

T1: (NOMBRE: "Reducir horas trabajo seguidas"
 PRECONDICIONES: (NO (Num_Conductores GC))
 EFECTOS: (Fatiga_Conductores GC)
 GC: Alto
 GRADO VIABILIDAD: ?
 COSTE: Bajo)

A4: Administracion Local

HECHOS:

H5: (Oferta_Conductores Alto)
 H6: (Concesion_Administracion Bajo)

H7: (Acuerdo_Aumento_IC Muy_Alto)
H8: (Informacion_Siniestralidad Normal)
H9: (Capacidad_Economica_Administracion Alto)

REGLAS:

R4: ((Tamaño_Parque_Movil GC)) AND
(NO (Capacidad_Flujo_Vehiculos GC))
IMPLICA
(Vehiculos_en_Circulacion GC) Alto)
R5: ((NO (Carreteras_Buen_Estado GC))
IMPLICA
(Num_Accidentes GC) Alto)

TAREAS:

T1: (NOMBRE: "Aumentar impuesto de circulacion"
PRECONDICIONES: (NO (Acuerdo_Aumento_IC GC))
EFECTOS: (Tamaño_Parque_Movil GC)
GC: Alto
GRADO VIABILIDAD: ?
COSTE: Alto)
T2: (NOMBRE: "Construir nuevas carreteras"
PRECONDICIONES:(Capacidad_Economica_Administracion GC)
EFECTOS: (Capacidad_Flujo_Vehiculos GC)
GC: Alto
GRADO VIABILIDAD: ?
COSTE: Muy_Alto)
T3: (NOMBRE: "Eliminar puntos conflictivos en carreteras"
PRECONDICIONES: (Puntos_Conflictivos_Identificados GC)
EFECTOS: (Carreteras_Buen_Estado GC)
GC: Muy_Alto
GRADO VIABILIDAD: ?
COSTE: Alto)
T4: (NOMBRE: "Identificar puntos conflictivos carreteras"
PRECONDICIONES: (Informacion_Siniestralidad GC)
EFECTOS: (Puntos_Conflictivos_Identificados GC)
GC: Muy_Alto
GRADO VIABILIDAD: ?
COSTE: Normal)
T5: (NOMBRE: "Ampliar hospitales"
PRECONDICIONES:(Capacidad_Economica_Administracion GC)
EFECTOS: (Capacidad_Hospitales GC)
GC: Alto
GRADO VIABILIDAD: ?
COSTE: Muy_Alto)

4.5.2 Generación de los Planes

En este subapartado vamos a generar los planes abstractos alternativos para cada uno de los problemas del grupo de agentes. Para una mejor comprensión del proceso, mostraremos el proceso detallado con el primer plan que resuelve el problema de número de accidentes; con el resto de planes tan sólo mostraremos el resultado.

```

PC1:
( Nombre: 'PC1
  EstadoInicial: '(Num_Accidentes Alto)
  EstadoFinal: '(Num_Accidentes (<= N°Accidentes 10))
  Agentes: '(A1, A2, A3, A4))

```

Los pasos del proceso son:

1 El plan inicial se crea de la siguiente manera:

```

inicio:
(  precondiciones: nil
  efectos: '(Num_Accidentes Alto))
fin:
(  precondiciones: '(Num_Accidentes (<= N°Accidentes 10))
  efectos: nil)
plan:
(  Nombre: 'plan1
  Tareas: '(inicio fin)
  RestriccionesOrdenacion: '((inicio < fin))
  LincajesCausales: nil
  Agentes: nil)

```

- 2 Se debe averiguar si el plan inicial es solución, es decir, que se cumplan los hechos que definen las precondiciones del objetivo del plan. Si lo es se devuelve el plan y el grupo de agentes que lo realizan.
- 3 Si no es solución, buscamos la primera tarea de las que no se ha resuelto alguna precondición, definidas como las tareas por resolver (tarea-objetivo). En el ejemplo la tarea fin es la tarea por resolver, y la precondicion es el objetivo del plan.
- 4 Posteriormente analizamos si hay alguna tarea que pueda resolver la precondicion de la tarea-objetivo, si hay alguna, se modifica el plan a partir del paso 6.
- 5 Si no se encuentra ninguna tarea que resuelva la precondición de la tarea-objetivo, se averigua si hay alguna regla de las creencias de los agentes que pueda descomponer la precondicion de la tarea-objetivo en subobjetivos. En el ejemplo, mediante la regla R14 del agente A1 podemos descomponer el objetivo en los subobjetivos S01 (NO (Nivel_Teorico_Conductores GC)) y S02 (NO (Nivel_Practico_Conductores GC)), introduciendolos en la lista tareas; también se añaden los lincajes causales (S01 (Num_Accidentes GC) fin) y (S02 (Num_Accidentes GC) fin), así como las restricciones temporales (S01 < fin) y (S02 < fin). Si los subobjetivos añadidos son nuevos, también se añaden las restricciones temporales (inicio < S01 < fin) y (inicio < S02 < fin). Si no se encuentran reglas que puedan descomponer la tarea-objetivo el proceso debe devolver 'fallo.

6 Sí se encuentra una tarea que resuelve la precondition o un subobjetivo el plan se modifica de la siguiente manera:

6.1 En el ejemplo encontramos que la tarea “Reciclar conductores nivel teorico” resuelve el subobjetivo SO1 mediante la precondition (Capacidad_Aprendizaje_Conductores GC); y la tarea “Reciclar conductores nivel practico” resuelve el subobjetivo SO2 con la precondition (Capacidad_Instructores_Practica GC). Entonces añadimos las tareas T1 y T2 a las tareas de plan.

6.2 Añadimos las restricciones temporales ‘((T1 A1) < SO1) y ‘((T2 A1) SO2) a la lista RestriccionesOrdenacion de plan. Y sí las tareas añadidas al plan son nuevas en la lista tareas, añadimos las restricciones temporales ‘(inicio < (T1 A1) < fin) y ‘(inicio < (T2 A1) < fin).

6.3 Se añaden los enlaces causales ‘((T1 A1) (NO (Nivel_Teorico_Conductores GC)) SO1) y ‘((T2 A1) (NO (Nivel_Practico_Conductores GC)) SO2).

7 Una vez añadidas las tareas se analiza sí se han creado amenazas en el nuevo plan. Se deben mirar las tareas que pueden generar la negación de alguna precondition ya resuelta. En el caso de existir una amenaza se ha de trasladar ésta temporalmente, bien hacia delante o atrás del enlace causal que es amenazado. En el ejemplo aún no se ha creado ninguna amenaza.

8 Una vez resueltas las amenazas se analiza sí el plan sigue siendo consistente. El análisis se realiza recorriendo la lista tareas y averiguando sí hay incoherencias en las RestriccionesOrdenacion, en el caso de haberlas el proceso debe devolver ‘fallo’. En este primer paso del proceso no hay incoherencias en el plan.

2b Sólo se cumple un hecho de la tarea T2, ya que mediante el H5 del agente A1 se demuestra la precondition (Capacidad_Instructores_Practica GC), pero el plan sigue sin ser solución.

3b Se averigua que hay tareas por resolver, encontrando la precondition de la tarea T1 (Capacidad_Aprendizaje_Conductores GC) por demostrar.

4b No se encuentra ninguna tarea que pueda resolver la tarea incompleta.

5b Mediante la regla puente RP2 del agente A1 se resuelve la precondition de la tarea T1, generando el subobjetivo SO3. El agente A1 requiere de la colaboración del agente A3 con el hecho H3, mediante la regla puente RP2. Posteriormente se debe añadir el lincaje causal (SO3 (Capacidad_Aprendizaje_Conductores GC) (T1 A1)), así como las restriccio-

nes temporales ($S03 < (T1 A1)$ y ($inicio < S03 < fin$).

En la figura 4.9 se muestra el esquema del plan solución. Las flechas delgadas indican la dependencia causal, tanto entre reglas, como entre tareas. Las flechas gruesas indican la restricción temporal entre las tareas.

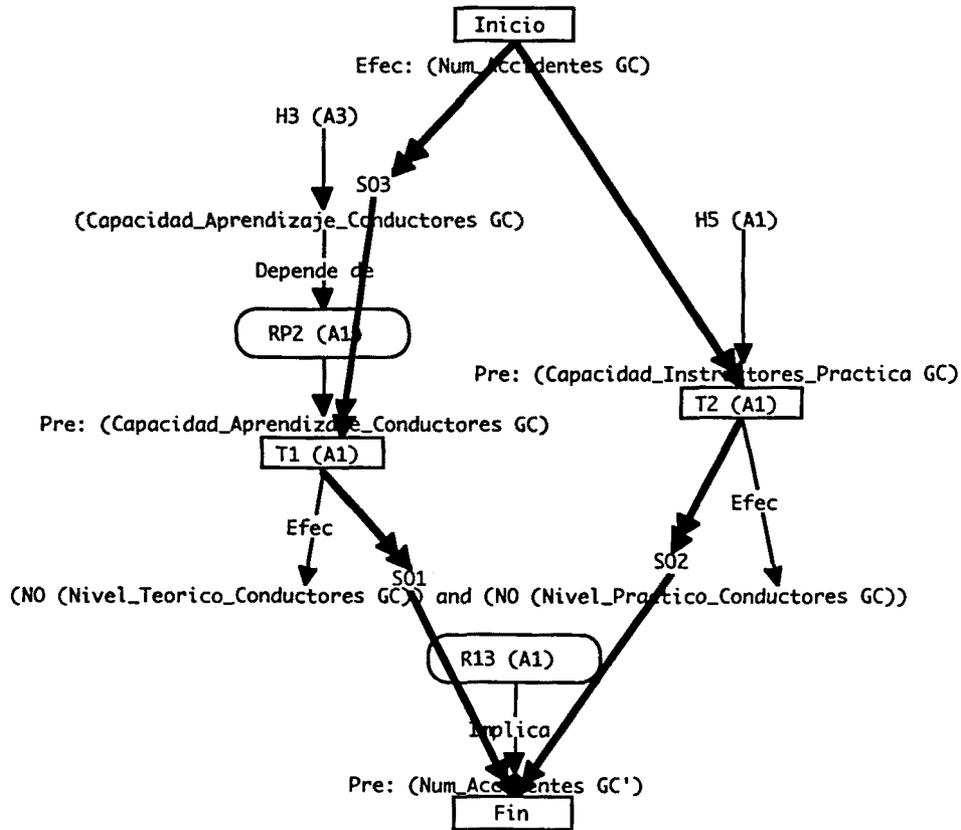


Fig. 4.9: Plan solución PLAN1 del problema central PC1.

El plan solución PLAN1 se describe de la siguiente manera:

```

PLAN1:
( Nombre: 'PLAN1
  ProblemaCentral: 'PC1
  Tareas: '(inicio fin S01 S02 (T1 A1) (T2 A1) S03)
  RestriccionesOrdenacion: '(
    (inicio < fin)
    (S03 < (T1 A1))
    (inicio < S03 < fin)
    (inicio < (T1 A1) < fin)
    ((T1 A1) < S01)
    (S01 < fin)
    (inicio < S01 < fin)
    ((T2 A1) < S02)
    (inicio < (T2 A1) < fin)
    (S02 < fin)
    (inicio < S02 < fin))
  
```

```

LincajesCausales: '( ( (S03
                      (Capacidad_Aprendizaje_C GC)
                      (T1 A1))
                    ( (T1 A1)
                      (Nivel_Teorico_Conductores GC)
                      S01)
                    ( (T2 A1)
                      (Nivel_Practico_Conductores GC)
                      S02)
                    ( S01
                      (Num_Accidentes GC)
                      fin)
                    ( S02
                      (Num_Accidentes GC)
                      fin)))

```

Obteniendo el Grado de Credibilidad de Num_Accidentes 0.18, es decir, Bajo, y en el Universo de Discurso $N^{\circ} \text{Accidentes} \leq 10$. Los demás planes generados por el grupo de agentes son:

PLAN2:

```

( Nombre: 'PLAN2
  ProblemaCentral: 'PC1
  Tareas: '(inicio fin S04 S05 (T4 A1) (T5 A1) (T6 A1)
           S06 (T1 A3) S07 (T3 A1) S08)
  RestriccionesOrdenacion: '( (inicio < fin)
                               (S08 < (T3 A1))
                               (inicio < S08 < fin)
                               (inicio < (T3 A1) < fin)
                               ((T3 A1) < S07)
                               (inicio < S07 < fin)
                               (S07 < (T1 A3))
                               (inicio < (T1 A3) < fin)
                               ((T1 A3) < S06)
                               (S06 < fin)
                               (inicio < S06 < fin)
                               ((T6 A1) < (T5 A1))
                               (inicio < (T6 A1) < fin)
                               ((T5 A1) < (T4 A1))
                               (inicio < (T5 A1) < fin)
                               ((T5 A1) < S04)
                               (inicio < (T5 A1) < fin)
                               (S04 < fin)
                               (inicio < S04 < fin))

```

```

LincajesCausales: '( ( (S08
                      (Disponibilidad_Cond GC)
                      (T3 A1))
                    ( (T3 A1)
                      (Num_Conductores GC)
                      S07)
                    ( S07
                      (NO (Num_Conductores GC)
                       (T1 A3))
                      (T1 A3)
                      (Fatiga_Conductores GC)
                      S06)

```

```

( S06
  (Num_Accidentes GC)
  fin)
( (T6 A1)
  (Plan_Mantenimiento_C GC)
  (T5 A1))
( (T5 A1)
  (Capacidad_Taller GC)
  (T4 A1))
( (T4 A1)
  (NO (Vehiculos_B_C GC))
  S04)
( (S04
  (Num_Accidentes GC))
  fin))

```

PLAN3:

```

( Nombre: 'PLAN3
  ProblemaCentral: 'PC1
  Tareas: '(inicio fin S09 (T3 A4) (T4 A4))
  RestriccionesOrdenacion: '(
    (inicio < fin)
    (S09 < fin)
    (inicio < S09 < fin)
    (inicio < (T3 A4) < fin)
    ((T3 A4) < S09)
    (inicio < (T4 A4) < fin)
    ((T4 A4) < (T3 A4)))

  LincajesCausales: '(
    ( S09
      (Num_Accidentes GC)
      fin)
    ( (T3 A4)
      (NO (Carret_B_E GC))
      S09)
    ( (T4 A4)
      (P_C_Identificados GC)
      (T3 A4))))

```

PLAN4:

```

( Nombre: 'PLAN4
  ProblemaCentral: 'PC2
  Tareas: '(inicio fin S010 (T7 A1) (T8 A1) S011)
  RestriccionesOrdenacion: '(
    (inicio < fin)
    (S010 < fin)
    (inicio < S010 < fin)
    (inicio < (T7 A1) < fin)
    ((T7 A1) < S010)
    ((T8 A1) < (T7 A1))
    (inicio < (T8 A1) < fin)
    (S011 < (T8 A1))
    (inicio < S011 < fin))

  LincajesCausales: '(
    ( S011
      (Concesion_Administracion GC)
      (T8 A1))
    ( (T8 A1)
      (NO (Capacidad_Ec_Comp GC))
      (T7 A1))
    ( (T7 A1)

```

```

(Media_Ant_Autobuses GC)
S010)
( S010
(Antiguedad_Autobuses GC)
fin)))

```

PLAN5:

```

( Nombre: 'PLAN5
ProblemaCentral: 'PC3
Tareas: '(inicio fin S012 S013 (T1 A4) (T2 A4))
RestriccionesOrdenacion: '( ( inicio < fin)
(S012 < fin)
(inicio < S012 < fin)
(S013 < fin)
(inicio < S013 < fin)
((T1 A4) < S012)
((T2 A4) < S013)
(inicio < (T1 A4) < fin)
(inicio < (T2 A4) < fin))

LincajesCausales: '( ( (S012.
(Vehiculos_en_Circulacion GC)
fin)
( S013
(Vehiculos_en_Circulacion GC)
fin)
( (T1 A4)
(Tamaño_Parque_Movil GC)
S012)
( (T2 A4)
(NO (Capacidad_Flujo_Vehic GC))
S013)))

```

PLAN6:

```

( Nombre: 'PLAN6
ProblemaCentral: 'PC4
Tareas: '(inicio fin (T4 A4))
RestriccionesOrdenacion: '( ( inicio < fin)
((T4 A4) < fin)
(inicio < (T4 A4) < fin))

LincajesCausales: '( ( ((T4 A4)
(Capacidad_Hospitales GC)
fin)))

```

4.5.3 Acuerdos y Compromisos de los Planes

Una vez generados los planes abstractos, el grupo debe llegar a un compromiso de querer llevar a cabo dichos planes. El compromiso se basa en el conocimiento común de todo el grupo de agentes sobre que existe un subgrupo capaz de realizar el plan que resuelve el objetivo del problema, y que todos los miembros del subgrupo están de acuerdo en que el plan genera un beneficio conjunto positivo para el grupo de agentes.

Los planes sobre los que no se logre llegar a un compromiso no deben pasar a la siguiente fase del proyecto, *Viabilidad de los planes*, ya que ni siquiera son planes que el grupo de agentes esté de acuerdo en querer realizarlos.

Acuerdo(Plan1)							
(T AG)	((BG ≥ CG)	OR	(BA ≥ CA))	AND	((BG' ≥ CA)	OR	(BA ≥ CG'))
T1 A1	3.75 ≥ 0.5	V	1 ≥ 0.5	V	3.25 ≥ 0.5	V	1 ≥ 0
T2 A1	3.75 ≥ 0.75	V	1 ≥ 0.75	V	3 ≥ 0.75	V	1 ≥ 0

Tabla 4.6: Acuerdo del plan PLAN1.

Acuerdo(Plan2)							
(T AG)	((BG ≥ CG)	OR	(BA ≥ CA))	AND	((BG' ≥ CA)	OR	(BA ≥ CG'))
T1 A3	3.75 ≥ 0.25	v	1 ≥ 0.25	v	3.5 ≥ 0.25	v	1 ≥ 0
T3 A1	3.75 ≥ 1	v	1 ≥ 1	v	2.75 ≥ 1	v	1 ≥ 0
T6 A1	3.75 ≥ 0.25	v	1 ≥ 0.25	v	3.5 ≥ 0.25	v	1 ≥ 0
T4 A1	3.75 ≥ 0.75	V	1 ≥ 0.75	V	3 ≥ 0.75	V	1 ≥ 0
T5 A1	3.75 ≥ 0.75	V	1 ≥ 0.75	V	3 ≥ 0.75	V	1 ≥ 0

Tabla 4.7: Acuerdo PLAN2.

Acuerdo(Plan3)							
(T AG)	((BG ≥ CG)	OR	(BA ≥ CA))	AND	((BG' ≥ CA)	OR	(BA ≥ CG'))
T3 A4	3.75 ≥ 0.75	v	1 ≥ 0.75	v	3 ≥ 0.75	v	1 ≥ 0
T4 A4	3.75 ≥ 0.5	V	1 ≥ 0.5	V	3.25 ≥ 0.5	V	1 ≥ 0

Tabla 4.8: Acuerdo PLAN3.

Acuerdo(Plan4)							
(T AG)	((BG ≥ CG)	OR	(BA ≥ CA))	AND	((BG' ≥ CA)	OR	(BA ≥ CG'))
T7 A1	3.75 ≥ 1	v	1 ≥ 1	v	2.75 ≥ 1	v	1 ≥ 0
T8 A1	3.75 ≥ 0.5	V	1 ≥ 0.5	V	3.25 ≥ 0.5	V	1 ≥ 0

Tabla 4.9: Acuerdo PLAN4.

Acuerdo(Plan5)							
(T AG)	((BG ≥ CG)	OR	(BA ≥ CA))	AND	((BG' ≥ CA)	OR	(BA ≥ CG'))
T1 A4	4 ≥ 0.75	v	1 ≥ 0.75	v	3.25 ≥ 0.75	v	1 ≥ 0
T2 A4	4 ≥ 1	V	1 ≥ 1	V	3 ≥ 1	V	1 ≥ 0

Tabla 4.10: Acuerdo PLAN5.

Acuerdo(Plan6)							
(T AG)	((BG ≥ CG)	OR	(BA ≥ CA))	AND	((BG' ≥ CA)	OR	(BA ≥ CG'))
T4 A4	3 ≥ 1	V	1 ≥ 1	V	2 ≥ 1	V	1 ≥ 0

Tabla 4.11: Acuerdo PLAN6.

El compromiso se consigue en los seis planes generados por el grupo de agentes. A partir de lo cual, se puede pasar a la fase de *Viabilidad de los planes*, sin embargo, para ello debemos especificar los compromisos en convenios que permitan controlar la descomposición de cada plan.

4.5.4 Convenios de los Compromisos

El último proceso de la fase de *Generación de planes alternativos abstractos* es el de definir los convenios de los planes a los cuales se ha llegado a un compromiso. Los convenios definidos son:

CONV-PLAN1:

(Nombre: 'CONV-PLAN1
Plan: 'PLAN1
Convenios-tareas: (CONV-TAR1-A1 CONV-TAR2-A1))

CONV-PLAN2:

(Nombre: 'CONV-PLAN2
Plan: 'PLAN2
Convenios-tareas: (CONV-TAR4-A1 CONV-TAR5-A1 CONV-TAR6-A1
CONV-TAR1-A3 CONV-TAR3-A1))

CONV-PLAN3:

(Nombre: 'CONV-PLAN3
Plan: 'PLAN3
Convenios-tareas: (CONV-TAR3-A4 CONV-TAR4-A4))

CONV-PLAN4:

(Nombre: 'CONV-PLAN4
Plan: 'PLAN4
Convenios-tareas: (CONV-TAR7-A1 CONV-TAR8-A1))

CONV-PLAN5:

(Nombre: 'CONV-PLAN5
Plan: 'PLAN5
Convenios-tareas: (CONV-TAR1-A4 CONV-TAR2-A4))

CONV-PLAN6:

(Nombre: 'CONV-PLAN6
Plan: 'PLAN6
Convenios-tareas: (CONV-TAR4-A4))

4.6 Conclusiones

En este capítulo hemos ido desarrollando un modelo de planificación cooperativa para un sistema de multi-agentes, en el que cada agente dispone de un conocimiento parcial del contexto y unos intereses diferentes.

El conocimiento sobre planificación se divide en dos niveles: 1º) el nivel cooperativo y; 2º) el nivel objeto. En el primer nivel, el grupo de agentes establece que existe cooperación sobre un problema central cuando hay conocimiento común del grupo de que existe un subgrupo capaz de realizar un plan que resuelve el objetivo del problema. Al segundo nivel, cada agente dispone de un conjunto de tareas. Al igual que en el Capítulo 3, cada agente puede enlazar su teoría con las de otros agentes mediante el uso de reglas puente.

El grupo de agentes define una serie de objetivos, a partir de los problemas centrales que ha identificado en el contexto del proyecto. El uso del razonamiento aproximado nos permite definir las evaluaciones subjetivas de los objetivos de los agentes, bien por la negación del estado inicial de cada problema central, o por la explicitación del valor que se desea obtener en el universo de discurso de la variable lingüística que define el problema.

La herramienta que utilizan los agentes para la generación de los planes es la planificación abstracta. La definición de un nivel social de conocimiento a partir de una estrategia social, compuesta por una función de acuerdo y una regla de consenso, nos permite establecer qué planes generados por el grupo de agentes se llevarán a cabo, en el caso de que superen el estudio de viabilidad de la siguiente fase en el proyecto.

Como resumen, podemos indicar las siguientes características del modelo:

Conocimiento de Planificación. El conocimiento de planificación se compone de dos niveles: el nivel cooperativo, perteneciente al nivel de conocimiento social de cada agente; y el nivel objeto, perteneciente al conocimiento de nivel objeto de cada agente.

Planificación Abstracta. El grupo de agentes utiliza la herramienta de la planificación abstracta para generar los planes alternativos. El uso de dicha herramienta nos permite generar planes más flexibles y no sufrir de un coste de cómputo excesivo. El proceso de planificación que hemos mostrado tiene muchas analogías con el de argumentación, ya que la búsqueda también es regresiva, cambiando el orden de la búsqueda de los argumentos (inicialmente tareas, posteriormente hechos, reglas y reglas puente), y añadiendo los conceptos de restricciones de ordenación y lincajes causales.

Planificación Cooperativa. El comportamiento del grupo de agentes está basado en la planificación cooperativa. Este modelo establece las relaciones de acuerdo y compromiso sobre un plan, que resuelve el objetivo persistente de un subgrupo de agentes.

En referencia a la metodología EML, el modelo que proponemos para la definición de los objetivos no se limita a negar los estados iniciales de los problemas centrales; y la generación de los planes, no se basa simplemente en seleccionar las ramas medios-fines del árbol de objetivos, sino que estudia el conjunto de tareas que permiten resolver cada uno de los objetivos del grupo de agentes.

Se ha de tener en cuenta que existen múltiples planes abstractos que pueden resolver cada objetivo. La decisión de aprobación o descalificación de cada plan dependerá, en última instancia, de el estudio de viabilidad que se realice sobre cada plan, debiéndolo descomponer y analizar todas las posibles evoluciones que éste pueda tener. Este estudio se realiza en el próximo capítulo, y forma parte exclusivamente de la metodología PDC, no incluido en la EML.